D. COMȘA

S. DARIE V. MAIER M. CHINDRIȘ

PROIECTAREA INSTALAȚIILOR ELECTRICE INDUSTRIALE



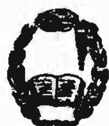
EDITURA DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ, BUCUREȘTI – 1983

MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI ÎNVĂȚĂMÎNTULUI

Prof. dr. ing. DAN COMȘA
Conf. dr. ing. SILVIU DARIE
Șef lucr. ing. VIRGIL MAIER
Șef lucr. ing. MIRCEA CHINDRIȘ

PROIECTAREA INSTALAȚIILOR ELECTRICE INDUSTRIALE

Ediția a doua



EDITURA DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ, BUCUREȘTI – 1983

PREFAȚĂ

Cadrul general economic în care apare această a doua ediție a manualului de Proiectare a instalațiilor electrice industriale *impune o integrare riguroasă a activității economice în coordonatele eficienței și calității. Este orientarea fermă imprimată dinamicii economii a României socialiste prin importante documente de partid și de stat, elaborate sub îndrumarea Secretarului general al partidului, președintele R.S. România, tovarășul Nicolae Ceaușescu.*

Industria a beneficiat de importante investiții, mari obiective fiind în curs de finalizare. S-a realizat o structură echilibrată a ramurilor industriale și s-a conturat o ierarhizare a contribuției lor la sporirea venitului național. Programul de dezvoltare a energeticii, pus sub semnul independenței energetice și a valorificării optimizate a resurselor, este în curs de desfășurare.

În aceste condiții, problematica instalațiilor electrice industriale este supusă unor noi și precise exigențe.

Astfel, actualul stadiu de dezvoltare a energeticii industriale a impus o severă și permanentă raportare a conținutului manualului la prevederile actelor normative și ale reglementărilor în vigoare. Reflectarea corectă a spiritului și conținutului documentelor energetice cu caracter obligatoriu, precum și a standardelor de stat aferente domeniului, a constituit o preocupare deosebită a colectivului de autori, în contextul grijii pentru păstrarea caracterului unitar și asigurarea nivelului științific al întregii lucrări.

Concepția conturată de autori în domeniul proiectării instalațiilor electrice industriale, în cadrul primei ediții, a fost primită favorabil de către specialiști, la fel ca și unele noțiuni nou introduse. De un real folos pentru cadrele tehnice, consacrate sau în formare, s-a dovedit a fi capitolul referitor la întocmirea documentației tehnico-economice a instalațiilor electrice. Actualizat și dezvoltat în prezenta ediție, acest capitol se prezintă cititorilor cu ambițiile unei și mai mari utilități și pentru o sferă de interes mai largă.

Utilizatorul acestui manual găsește în substanța expunerii tehnice, de specialitate, metode concrete și variate de perfecționare a cunoștințelor, care pornesc de la reorganizarea logică a condițiilor și etapelor de proiectare și sfîrșesc cu rezolvarea optimizată destinată prelucrării pe calculatorul numeric. Aceste metode constituie totodată modele de instrumente de lucru pentru dezvoltări posibile.

Abordînd toate aspectele tehnico-inginerești ale proiectării instalațiilor electrice industriale, de la partea de înaltă tensiune la cea de curenți slabi, lucrarea în ansamblu se recomandă a fi utilă studenților de la facultățile Electrotehnică, Energetică, Mecanică și Instalații în construcții, precum și inginerilor, subinginerilor sau tehnicienilor care proiectează, execută sau exploatează instalații electrice industriale.

Autorii

CUPRINS

Capitolul 1
INSTALAŢII ELECTRICE LA CONSUMATORI

1.1. DEFINIŢII, CLASIFICĂRI

Instalaţia electrică defineşte un ansamblu de echipamente electrice interconectate într-un spaţiu dat, formînd un singur tot şi avînd un scop funcţional bine determinat [67].

În diversitatea cazurilor concrete, care pot fi luate în considerare, comun este faptul că orice instalaţie electrică presupune o serie de echipamente electrice, precum şi interconexiunile dintre acestea, realizate prin diferite tipuri de conducte electrice.

Prin *echipament electric* se înţelege, în general, orice dispozitiv întrebuinţat pentru producerea, transformarea, distribuţia, transportul sau utilizarea energiei electrice. Această ultimă destinaţie, reprezentînd scopul final al întregului proces de producere, transport şi distribuţie, defineşte o categorie distinctă de echipamente, denumite receptoare. *Receptoarele electrice* sînt dispozitive care transformă energia electrică în altă formă de energie utilă.

Receptoarele electrice se împart în:

— receptoare de iluminat, cuprinzînd corpurile de iluminat prevăzute cu surse electrice de lumină;

— receptoare de forţă, care pot fi electromecanice (motoare electrice, electromagneţi, electroventile), electrotermice (cuptoare electrice, agregate de sudură) sau electrochimice (băi de electroliză).

Tipul receptoarelor electrice are o influenţă majoră asupra alcătuirii întregii instalaţii din care acestea fac parte, determinînd atît tipul şi caracteristicile restului echipamentelor şi conductelor electrice, cît şi tehnologia de execuţie.

În majoritatea cazurilor, receptoarele electrice nu sînt elemente izolate, ele fiind grupate pe utilaje cu destinaţii tehnologice bine determinate. Ansamblul utilajelor şi receptoarelor izolate care necesită alimentare cu energie electrică şi concură la realizarea procesului de producţie dintr-o hală sau întreprindere, face parte din echipamentul tehnologic al acestora.

Cînd se fac referiri la anumite instalaţii concrete, prin echipamentul electric al acestora se înţelege totalitatea maşinilor, aparatelor, dispozitivelor şi receptoarelor electrice ataşate instalaţiei respective (sau utilajului respectiv). În această accepţiune, esenţial este faptul că suma de aparate, maşini sau alte dispozitive care intră în compunerea echipamentului, reprezintă un tot unitar, cu o funcţionalitate bine determinată.

În practică, noţiunile de instalaţie şi echipament sînt strîns corelate. Astfel, un dispozitiv considerat ca echipament al unei instalaţii, poate avea el însuşi o instalaţie electrică proprie şi un echipament destul de complex şi divers.

Instalațiile electrice se clasifică după diferite criterii, ca: rolul funcțional, poziția în raport cu procesul energetic, locul de amplasare, nivelul tensiunii, frecvența și modul de protecție.

a. După rolul funcțional, instalațiile electrice pot fi:

— de *producere* a energiei electrice, aferente diferitelor tipuri de centrale electrice sau unor grupuri electrogene;

— de *transport* a energiei electrice, incluzînd linii electrice (racord, distribuitor, coloană și circuit);

— de *distribuție* a energiei electrice — stații electrice, posturi de transformare și tablouri de distribuție:

— de *utilizare* a energiei electrice, care la rîndul lor se diferențiază în raport cu tipul receptoarelor, în instalații de forță și instalații de iluminat;

— *auxiliare*, din care fac parte instalațiile cu funcție de menținere a calității energiei electrice (reducerea efectului deformant, compensarea regimului dezechilibrat, reglajul tensiunii), de asigurare a unei distribuții economice a acesteia (compensarea puterii reactive), pentru protecția personalului împotriva electrocutărilor (legarea la pămînt, legarea la nul etc.), pentru protecția clădirilor și a bunurilor (instalațiile de paratrăsnet, de avertizare de incendiu), precum și instalațiile de telecomunicații.

b. După poziția ocupată în raport cu procesul energetic la care concură, se deosebesc:

— *instalații de curenți tari*, care cuprind elementele primare implicate în procesul de producere, transport, distribuție și utilizare a energiei electrice;

— *instalații de curenți slabi*, care deși nu sînt înseriate în circuitul fluxului energetic principal, concură la realizarea în condiții corespunzătoare a proceselor energetice. Din această categorie fac parte instalațiile de automatizare, măsură și control (AMC), de avertizare de incendii, de telecomunicații etc.

În mod asemănător, instalațiile complexe se compun din circuite *primare* sau de forță și circuite *secundare* sau de comandă, cele două părți diferențiindu-se funcțional ca și instalațiile de curenți tari, respectiv slabi.

c. În raport cu locul de amplasare, se deosebesc următoarele categorii de instalații:

— *pe utilaj*, un caz deosebit reprezentîndu-l amplasarea pe vehicule;

— *în interiorul clădirilor*, în diferite categorii de încăperi;

— *în exterior*, în diferite condiții de mediu.

d. După nivelul tensiunii, instalațiile se clasifică în:

— instalații de *joasă tensiune* (JT), a căror tensiune de lucru este sub 1 kV;

— instalații de *medie tensiune* (MT), cu tensiuni de lucru în intervalul 1 ... 20 kV;

— instalații de *înaltă tensiune* (IT), cu tensiuni de lucru între 35 ... 110 kV;

— instalații de *foarte înaltă tensiune*, funcționînd la tensiuni mai mari sau egale cu 220 kV.

În practică, domeniile de valori corespunzătoare acestor divizări diferă, în raport cu apartenența instalației la o categorie funcțională sau alta. Referindu-se la nivelul tensiunii, normativele în vigoare [41, 55]

diferențiază instalațiile în instalații sub 1 000 V (joasă tensiune) și peste 1 000 V (înaltă tensiune).

e. După frecvența tensiunii, se deosebesc instalații:

— de *curent continuu*;

— de *curent alternativ*. La rîndul lor, acestea pot fi, în raport cu valoarea frecvenței: de frecvență joasă (0,1 ... 50 Hz), industrială (50 Hz), medie (100 ... 10 000 Hz), sau de înaltă frecvență (peste 10 000 Hz).

f. Din punct de vedere al modului de protecție, instalațiile pot fi:

— de *tip deschis*, față de care persoanele sînt protejate numai împotriva atingerilor accidentale a părților aflate sub tensiune;

— de *tip închis*, la care elementele componente sînt protejate contra atingerilor, pătrunderii corpurilor străine peste 1 mm, a picăturilor de apă și a deteriorărilor mecanice;

— de *tip capsulat*, la care elementele componente sînt protejate contra atingerilor, pătrunderii corpurilor străine de orice dimensiuni, a stropilor de apă din toate direcțiile și contra deteriorărilor mecanice.

1.2. COMPUNEREA INSTALAȚIILOR ELECTRICE LA CONSUMATORI

Consumatorul de energie electrică este alcătuit din totalitatea receptoarelor dintr-un anumit spațiu sau dintr-o întreprindere. Avînd în vedere corelațiile de natură tehnologică dintre diversele laturi ale procesului de producție, la care concură și instalațiile electrice, se poate afirma că receptoarele electrice, care în ansamblu formează consumatorul, sînt legate printr-un scop funcțional.

Instalațiile electrice la consumator se compun din:

— receptoare electrice;

— rețele electrice și puncte de alimentare (distribuție);

— echipamente de conectare, protecție, AMC etc., adică restul echipamentelor electrice, în afară de receptoare.

Schema de distribuție generalizată pentru instalațiile electrice la consumator este prezentată în figura 1.1. Alimentarea cu energie electrică a consumatorului, alcătuit din receptoarele de joasă tensiune m_j și cele de medie tensiune m_i, se realizează în înaltă tensiune de la stația *SSE* a sistemului energetic prin

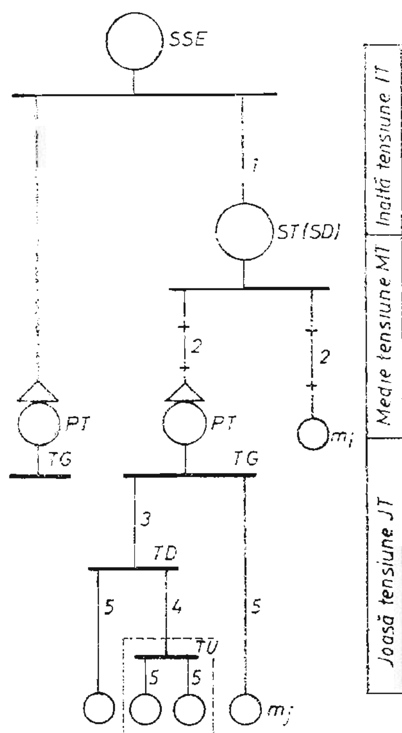


Fig. 1.1. Compunerea instalațiilor electrice la consumator:

SSE — stația sistemului energetic; *ST(SD)* — stație de transformare (distribuție); *PT* — post de transformare; *TG* — tablou general de distribuție; *TD* — tablou de distribuție; *TU* — tablou de forță utilaj; m_i — receptor înaltă tensiune; m_j — receptor joasă tensiune; *1* — racord înaltă tensiune; 2 — distribuitor; *3* — coloană; *4* — circuit utilaj; *5* — circuit receptor.

intermediul racordului de înaltă tensiune 1 (linie electrică aeriană sau subterană). Acesta alimentează o stație de transformare *ST* (pentru tensiuni de alimentare mai mari de 35 kV) sau o stație de distribuție *SD*; dacă alimentarea cu energie a consumatorului se face prin intermediul unui singur post de transformare *PT*, acesta se racordează direct la barele stației sistemului (în stînga figurii).

Racordarea consumatorilor la sistemul electroenergetic național se face, de regulă, printr-o singură linie electrică de alimentare. Aceasta va fi prevăzută cu numărul minim de circuite necesare tranzitului energiei electrice în condiții economice și la parametri de calitate și siguranță ceruți de consumator [45].

Punctul de separație între furnizor și consumator se numește punct de delimitare. Două puncte de delimitare se consideră distincte dacă prin fiecare din ele se poate asigura puterea necesară la consumator, în cazul dispariției tensiunii în celălalt punct, la parametrii de calitate și de siguranță stabiliți prin proiect [45]. Asigurarea continuității în alimentarea consumatorului din puncte de delimitare distincte presupune funcționarea reușită a automaticii de sistem şi a sistemului de alimentare extern în ansamblu.

Nodul electric din amonte de punctul de delimitare constituie sursa în raport cu consumatorul considerat.

Din punctul de alimentare, reprezentat de barele stației *ST* (sau *SD*), se alimentează diferitele posturi de transformare *PT*, precum și receptoarele de medie tensiune m_i, prin intermediul liniilor 2, numite distribuitoare; în practică se folosește denumirea de fider pentru distribuitoarele care alimentează posturi de transformare sau puncte de alimentare intermediare.

De la barele de joasă tensiune ale posturilor de transformare se alimentează receptoarele de joasă tensiune m_j ale consumatorului. Receptoarele mai importante sau cele de puteri mai mari se racordează adeseori direct la tabloul general *TG*. În general, se realizează puncte de distribuție intermediare, reprezentate de tablourile de distribuție *TD*. Liniile care alimentează tablourile de distribuție se numesc coloane. O parte din receptoarele de joasă tensiune sînt grupate pe utilaje care avînd o instalație electrică proprie, au și un tablou de distribuție *TU* al utilajului. Linia *4*, care leagă tabloul de utilaj la tabloul de distribuție constituie un circuit de utilaj. Liniile de alimentare *5* ale receptoarelor se numesc circuite.

Instalația electrică înseriată între sursă și un punct de consum considerat se numește cale de alimentare, aceasta putînd cuprinde linii aeriene și în cabluri, întreruptoare, separatoare, transformatoare, reactoare etc. Indisponibilitatea oricărui element nerezervat al căii de alimentare conduce la întreruperea alimentării în punctul de consum respectiv.

Două căi de alimentare se consideră independente dacă un defect unic sau lucrările de reparații și întreținere la elementele unei căi nu conduc la scoaterea din funcțiune a celeilalte căi.

Întreruperea căilor de alimentare a unui consumator poate fi:

— simplă, în cazul indisponibilității accidentale sau programate a unei singure căi de alimentare;

— dublă sau multiplă, care afectează în același timp două sau mai multe căi de alimentare care se rezervează reciproc.

La consumatori, se pot întîlni centrale electrice proprii, a căror realizare poate fi determinată de:

— necesitatea de recuperare maximă, justificată economic, a resurselor energetice secundare sau de valorificare complexă a produselor;

— necesitatea producerii combinate de energie electrică și termică, fundamentată economic prin calcule;

— existența unui procent important de receptoare de categoria zero (v. subcap. 1.3);

— eficiența economică a alimentării unor receptoare de categoria I (v. subcap. 1.3), pentru care duratele de revenire a tensiunii în caz de întrerupere în sistem nu sînt satisfăcătoare.

Dacă se are în vedere că unii consumatori au centrale electrice proprii, se constată că în cadrul instalațiilor electrice la consumatori se disting părți cu funcționalități care acoperă întreg procesul de producere, transport, distribuție și utilizare a energiei electrice.

1.3. CONDIȚIILE DE CALITATE ÎN ALIMENTAREA CU ENERGIE ELECTRICĂ A CONSUMATORILOR

Pentru buna funcționare a receptoarelor, alimentarea cu energie electrică trebuie să îndeplinească o serie de condiții referitoare la tensiune, frecvență, putere și continuitate. Prezentarea detaliată a acestor condiții se sistematizează în cele ce urmează.

a. Tensiunea constantă, ca valoare și formă, constituie o primă condiție pentru orice tip de receptoare.

Este recomandabil ca tensiunea la bornele receptoarelor să fie constantă și egală cu cea nominală sau variațiile posibile să se încadreze în limitele precizate pentru fiecare receptor în parte. În exploatarea instalațiilor electrice apar variații de tensiune, cauzate de consumator, datorită variațiilor de sarcină sau scurtcircuitelor. Aceste variații pot fi lente, cauzate de modificarea în timp a încărcării receptoarelor, sau rapide — cauzate de scurtcircuite sau de modificări rapide ale sarcinii (de exemplu cuptoare cu arc, utilaje de sudare, laminoare, compresoare, mașini cu cuplu pulsatoriu ș.a.), inclusiv cele datorate conectărilor — deconectărilor de receptoare.

Se folosește denumirea de gol de tensiune pentru orice scădere a valorii eficace a tensiunii unei rețele electrice cu o amplitudine cuprinsă între o valoare minimă sesizabilă (circa 0,2 U_n) și U_n și o durată de cel mult 3 s.

Dintre receptoarele și instalațiile sensibile la goluri de tensiune fac parte următoarele:

— motoarele și compensatoarele sincrone;

— motoarele asincrone (în funcție de caracteristica cuplului rezistent);

— echipamentele electronice, inclusiv redresoarele comandate;

— contactoarele de 0,4 kV și cele din circuitele secundare;

— automatica, protecția, blocajele și reglajele din circuitele tehnologice.

O diminuare cu caracter permanent a valorii tensiunii poate fi consecința subdimensionării secțiunii conductoarelor, situație cu urmări negative ca: distrugerea izolației electrice, nefuncționarea echipamentului și suprasolicitarea termică a receptoarelor și conductelor.

Tensiunile de alimentare mai mari decît cele nominale determină funcționarea în suprasarcină a unor receptoare de forță și reducerea duratei de viață a receptoarelor de iluminat. Scăderea tensiunii sub valoarea nominală atrage după sine solicitarea termică (la motoarele electrice), funcționarea la parametri inferiori (la cuptoarele electrice) sau chiar nefuncționarea unor receptoare sau instalații (desprinderea electromagneților, a motoarelor asincrone ș.a.).

Problema formei tensiunii se pune atît în cazul receptoarelor alimentate în curent continuu, cît și în cazul celor alimentate în curent alternativ.

Tensiunea continuă la bornele receptoarelor de curent continuu poate avea o serie de armonici, mai ales dacă sursa de tensiune este un redresor semicomandat sau comandat. Conținutul de armonici este limitat în funcție de efectele acestora asupra receptoarelor, prin precizarea coeficientului de distorsiune admis.

Abaterea de la forma sinusoidală a undei de tensiune determină funcționarea receptoarelor de curent alternativ în regim deformant. În timp ce la unele receptoare, cum sînt cuptoarele cu inducție, prezența armonicilor în unda de tensiune nu deranjează, la altele — printre care și motoarele electrice — prezența armonicilor de tensiune trebuie limitată tot prin precizarea coeficientului de distorsiune admis.

Coeficientul de distorsiune k_d al undei de tensiune se definește ca raportul dintre valoarea eficace a reziduului deformant U_d și valoarea eficace U a undei de tensiune,

$$k_d = \frac{U_d}{U}, \tag{1.1}$$

în care reziduul deformant are expresia

$$U_d = \sqrt{\sum_{i=2}^{n} U_i^2}, \tag{1.2}$$

unde U_i este valoarea eficace a armonicii i, iar n poate fi limitat la $n = 13$ pentru calculele practice.

Coeficientul de distorsiune total, rezultat din funcționarea receptoarelor consumatorului și din condițiile din sistemul electroenergetic, se limitează [45] la valoarea:

$$k_d \leqslant 0{,}05, \tag{1.3}$$

adică la 5%.

Cauzele distorsiunii undei sinusoidale de tensiune se găsesc în cea mai mare parte la consumator. În timp ce o serie de echipamente, cum sînt bobinele cu miez feromagnetic, receptoarele cu arc electric și mutatoarele reprezintă surse de armonici de tensiune și curent, elementele reactive de circuit ca bobinele și condensatoarele constituie amplificatoare de armonici de tensiune, respectiv de curent. În cadrul instalațiilor electrice la consumator, trebuie luate măsuri pentru reducerea efectelor deformante și a influenței asupra rețelei de alimentare.

b. Frecvenţa constantă a tensiunii de alimentare constituie un deziderat major atît pentru buna funcţionare a receptoarelor, menţinerea preciziei aparatelor de măsură, cît şi pentru maşinile de lucru antrenate prin motoare de curent alternativ. Variaţiile frecvenţei pot fi cauzate de variaţii importante de sarcină sau de avarii grave în sistem, originea unor asemenea cauze putînd fi şi consumatorii de energie electrică.

Menţinerea constantă a frecvenţei industriale (50 Hz) este o problemă la nivel de sistem energetic, fiind legată de puterea în rezervă din centralele electrice ale sistemului şi de operativitatea dispeceratului. În anumite situaţii, cînd posibilităţile de producere a energiei electrice în centrale sînt limitate, se decide întreruperea alimentării unor consumatori (sacrificarea distribuitorilor), în scopul menţinerii frecvenţei în sistem.

Abaterile maxim admise ale frecvenţei sînt de $\pm 0{,}5$ Hz.

c. Simetria tensiunilor este condiţia în baza căreia sistemului tensiunilor de fază trebuie să-i corespundă trei fazori egali şi defazaţi cu 120°.

Cauzele nesimetriei sînt pe de o parte instalaţiile de producere şi transport, independente de consumator, iar pe de altă parte sarcinile dezechilibrate ale consumatorilor.

Consecinţele nesimetriei tensiunilor se studiază prin metoda componentelor simetrice, cînd se determină pe lîngă componentele directe şi componentele inverse şi homopolare. Ultimele sînt cauzele unor cupluri de frînare, respectiv încălzire şi vibraţii la motoarele de curent alternativ.

Nesimetria tensiunilor se exprimă printr-un coeficient de nesimetrie δ_{UN}, dat de relaţia

$$\delta_{UN} = (\underline{U}_A + a^2\underline{U}_B + a\underline{U}_C)\frac{100}{U_n\sqrt{3}}, \ \%, \tag{1.4}$$

în care $\underline{U}_A$, $\underline{U}_B$, $\underline{U}_C$ reprezintă fazorii tensiunilor de faze, în V;

U_n — tensiunea nominală a reţelei, în V;

$a = e^{j\frac{2\pi}{3}}$ — operatorul de rotaţie.

Nesimetria tensiunii este admisă în limitele de pînă la 2%

$$\delta_{UN} \leqslant 2\% \tag{1.5}$$

pe o durată îndelungată, la bornele oricărui receptor electric simetric, trifazat [45].

d. Puterea necesară este o condiţie globală a consumatorilor şi unul dintre criteriile esenţiale în proiectare.

În funcţie de puterea maximă absorbită în punctul de racordare, conform normativului [45], se stabilesc patru clase de consumatori de energie electrică din sistemul electroenergetic, prezentate în tabelul 1.1.

În acelaşi tabel, se indică treapta de tensiune minimă care trebuie să existe în staţia de racord, posibilităţile de alimentare din această staţie şi momentul sarcinii.

Consumatorii cu puteri absorbite maxime de 50 kVA se alimentează din reţeaua de joasă tensiune.

Sarcina maximă de durată se stabileşte pentru un interval de cerere de 15, 30 sau 60 min, stînd la baza calculelor de dimensionare a elementelor reţelei din condiţii termice şi de determinare a pierderilor de putere.

Tabelul 1.1

Clasele de consumatori și recomandări de alimentare cu energie electrică a acestora [45]

Clasa	Puterea cerută, [MVA]	Treapta de tensiune minimă în punctul de racord, [kV]	Posibilități de alimentare: Direct la tensiunea de. [kV]	Posibilități de alimentare: Prin transformatoare de	Momentul sarcinii [MVA · km]
D	0,05–2,5	6* 10 20	6*–20	6/0,4 kV* 10/0,4 kV 20/0,4 kV	max. 3 max. 8
C	2,5 –7,5	20* 110	20 110	20/0,4 kV 20/6 kV 110/MT	30...80
B	7,5 –50	110	110	110/MT	max. 1500
A	peste 50	110* 220 400**	110 220 —	110/MT 220/MT 220/110 kV 400/110 kV	peste 1500

* Trepte de tensiune admise în cazuri justificate;
** Pentru puteri cerute mai mari de 250 MVA.

Există și sarcini maxime de scurtă durată (de vîrf), care pot dura 1 ... 10 s și care se iau în considerare la calculul fluctuațiilor de tensiune din rețea, la reglajul protecțiilor maximale ș.a.

Modul în care necesitățile de consum de energie electrică sînt asigurate în timp consumatorului de către furnizor este caracterizat prin gradul de satisfacere a alimentării consumatorului în punctul de delimitare. Această mărime, notată cu C, se definește ca raportul dintre durata probabilă de alimentare și durata de alimentare cerută

$$C = \frac{T_c - T_n}{T_c} 100, \ \%, \tag{1.6}$$

în care T_c este intervalul de timp din cadrul unui an calendaristic în care consumatorul solicită criteriul de siguranță;
T_n — durata probabilă de nealimentare în perioada considerată.

Gradul de satisfacere în alimentare poate fi determinat pentru diferite nivele de puteri cerute [45].

Alimentarea cu energie electrică a consumatorilor aparținînd diverselor clase se poate realiza din sistemul electroenergetic la următoarele niveluri de siguranță:

— nivelul 1, prin două căi de alimentare independente, dimensionate fiecare pentru puterea cerută la consumator (rezervă de 100% în căi de alimentare) și prin două puncte distincte de racord (rezervă de 100% în surse). Realimentarea consumatorilor, în caz de avarie a unei căi, se prevede a se realiza prin comutarea automată a consumului pe calea neavariată, cu o discontinuitate de maximum 3 s;

— nivelul 2, prin două căi de alimentare care nu sînt în mod obligatoriu independente (rezervă de 100% în linii electrice) și de regulă, printr-un singur punct de racord. Realimentarea consumatorului în caz

de întrerupere simplă (avarie a unei căi) se poate face numai după identificarea defectului și efectuarea unor manevre manuale de izolare a acestuia, după o întrerupere de 0,5 ... 8 h, în funcție de clasa consumatorului, structura rețelei de alimentare și poziția centrului de intervenție în raport cu locul manevrelor ;

— nivelul 3, printr-o singură cale de alimentare. Realimentarea consumatorului în caz de avarie se poate face numai după repararea sau înlocuirea elementelor defecte.

Caracteristicile complete ale nivelurilor de siguranță sînt concentrate în tabelul 1.2.

Tabelul 1.2

Duratele de realimentare a consumatorilor în raport cu clasa acestora și nivelele de rezervare

Nivelul de rezervare	Gradul de satisfacere minim	Consum asigurat în caz de întrerupere simplă	Clasa				Observații
			A	*B*	*C*	*D*	
1	99,8	Integral (100%)	3s				Durata de acționare a automaticii de sistem
2	99,5	Integral (100%)	0,5 h		2 h	2...8 h	Durata necesară efectuării de manevre pentru izolarea defectului și realimentarea pe calea de rezervă : prin comandă manuală din stațiile cu personal permanent —0,5 h ; idem, fără personal permanent — 2 h ; pentru consumatorii dispersați 2 ... 8 h.
3	98,0	Nimic	Se stabilește de la caz la caz, în funcție de condițiile locale și structura schemei de alimentare.				

În situații justificate, consumul asigurat în caz de întrerupere simplă poate fi mai mic decît sarcina maximă de durată, iar calea de alimentare se dimensionează în consecință. Există un nivel de siguranță optim pentru alimentarea unui consumator, care se stabilește în conformitate cu criteriile expuse în [45].

e. Continuitatea alimentării cu energie electrică a consumatorilor reprezintă cea mai importantă condiție calitativă.

În funcție de natura efectelor produse de întreruperea alimentării cu energie electrică, receptoarele se încadrează în următoarele categorii :

— Categoria zero, la care întreruperea în alimentarea cu energie electrică poate duce la explozii, incendii, distrugeri grave de utilaje sau pierderi de vieți omenești. Încadrarea receptoarelor în această categorie se admite în cazul în care nu se dispune de alte forme de energie, în cazul în care acestea nu sînt justificate tehnic sau sînt prohibitive economic în comparație cu acționarea electrică, precum și în situațiile în care măsurile de prevenire de natură tehnologică nu sînt eficiente.

Se încadrează în categorie zero instalații și echipamente ca : iluminatul de siguranță, instalațiile de ventilație și evacuarea a gazelor nocive sau a amestecurilor explozive, pompele de răcire ale furnalelor și cuptoarelor de oțelării, calculatoarele de proces ș.a.

— Categoria I, la care întreruperea alimentării duce la dereglarea proceselor tehnologice în flux continuu, necesitînd perioade lungi pentru reluarea activității la parametrii cantitativi și calitativi existenți în momentul întreruperii, la rebuturi importante de materii prime, materiale auxiliare, scule, semifabricate ș.a., la pierderi materiale importante prin nerealizarea producției planificate și imposibilitatea recuperării acesteia, la repercusiuni asupra altor unități importante sau la dezorganizarea vieții sociale în centrele urbane.

Receptoare de categoria I sînt incluse în instalații tehnologice organizate pentru producția în serie mare, în flux continuu, în instalații de ventilație, de cazane, de transport al clincherului etc.

— Categoria a II-a, la care întreruperea alimentării determină nerealizări de producție, practic numai pe durata întreruperii, care pot fi, de regulă, recuperate. În această categorie se încadrează majoritatea receptoarelor din secțiile prelucrătoare.

— Categoria a III-a cuprinde receptoarele care nu se încadrează în categoriile precedente (ex. magazii, depozite).

La stabilirea categoriei receptoarelor se ține seama de:

— cerințele de continuitate în alimentarea receptoarelor;

— cerințele speciale în ceea ce privește calitatea tensiunii și a frecvenței;

— indicatorii valorici ai daunelor provocate de întreruperile în alimentarea cu energie electrică.

Clasificarea receptoarelor pe categorii, cu stabilirea duratei de realimentare, adică a duratei întreruperilor admisibile în alimentare, se efectuează de către proiectantul general, după consultarea furnizorilor de echipamente, a beneficiarului investiției și a proiectantului de specialitate. Indicații orientative sînt cuprinse în lucrările [1, 15, 45].

Durata de realimentare se situează deasupra unei valori minime de 3 secunde (la receptoare de categoria O sau I), corespunzînd duratei de acționare a automaticii de sistem, putînd atinge chiar cîteva ore (la receptoare din categoriile II și III), fără a depăși însă 24 ore.

Condițiile referitoare la putere și continuitate se corelează conform datelor din tabelul 1.2. Astfel, clasa consumatorului și categoriile receptoarelor din compunerea sa determină în primul rînd durata de realimentare și consumul asigurat, ceea ce conduce la stabilirea celorlalte caracteristici ale nivelurilor de siguranță, ca modalitățile de rezervare în căi și surse și gradul de satisfacere minim.

În caz de întrerupere dublă la consumatorii cu două căi de alimentare, realimentarea se asigură numai după timpul necesar reparării unei căi. La fel, în cazul unor defecțiuni provocate de fenomene imprevizibile, durata de realimentare este determinată de posibilitățile de reparare a instalațiilor avariate [45].

Cunoașterea structurii unui consumator pe categorii de receptoare are o importanță deosebită pentru proiectantul de instalații electrice, aceasta influențînd unele din etapele de bază ale proiectării cum sînt: stabilirea schemei de racordare și distribuție în înaltă tensiune, organizarea posturilor de transformare, alegerea schemei de distribuție în joasă tensiune etc. Categoriile de receptoare se precizează în chestionarul energetic, prin care se cere acordul prealabil și care se anexează la nota de comandă fiind semnat de beneficiar (v. tab. 2.1).

1.4. SARCINI ELECTRICE DE CALCUL

În cadrul instalațiilor electrice, sarcina electrică reprezintă o mărime care caracterizează consumul de energie electrică. Mărimile utilizate frecvent în acest scop sînt puterea activă P, reactivă Q, aparentă S și curentul I.

În proiectarea instalațiilor electrice la consumatori este necesar să se cunoască în primul rînd puterea activă absorbită de către:

— receptoare, pentru dimensionarea circuitelor de receptor;
— utilaje, pentru dimensionarea circuitelor de utilaj;
— grupuri de receptoare și utilaje, pentru dimensionarea tablourilor de distribuție și a coloanelor de alimentare ale acestora;
— secții ale întreprinderii și apoi de întreaga întreprindere, pentru dimensionarea posturilor de transformare, a liniilor de medie și înaltă tensiune și a stațiilor de distribuție sau transformare.

Caracteristicile tehnice nominale ale receptoarelor sînt următoarele:

— puterea activă P_n sau aparentă S_n;
— tensiunea U_n;
— conexiunea fazelor;
— curentul I_n;
— randamentul η_n;
— factorul de putere $\cos \varphi_n$;
— relația dintre curentul de pornire I_p (conectare) și curentul nominal I_n, sub forma raportului I_p/I_n.

În cazul receptoarelor realizate pentru un regim de funcționare intermitent (motoare electrice), se specifică și durata relativă de acționare nominală DA_n.

Puterea instalată P_i a unui receptor reprezintă puterea sa nominală raportată la durata de acționare de referință $DA = 1$,

$$P_i = P_n \sqrt{DA_n}, \tag{1.7}$$

în care DA_n este o mărime relativă subunitară care poate lua una din următoarele valori $DA_n = 0{,}15$; $0{,}25$; $0{,}4$; $0{,}6$ și 1. Prin urmare, puterea instalată P_i a unui receptor este mai mică, cel mult egală cu puterea nominală P_n a acestuia.

În cazul receptoarelor caracterizate prin puterea aparentă nominală S_n, puterea instalată este dată de relația

$$P_i = S_n \cos \varphi_n \sqrt{DA_n}. \tag{1.8}$$

Pentru un grup de n receptoare, puterea instalată totală se determină ca sumă a puterilor instalate a receptoarelor componente

$$P_i = \sum_{j=1}^{n} P_{ij}, \tag{1.9}$$

în care puterile instalate individuale P_{ij} rezultă din relațiile (1.7) sau (1.8).

Puterea activă absorbită, care se ia în considerare în calcul pentru grupuri cuprinzînd cel puțin patru receptoare se numește *putere cerută* sau de *calcul*. Puterea cerută P_c reprezintă o putere activă convențională, de valoare constantă, care produce în elementele instalației electrice (con-

ducte și echipamente) același efect termic ca și puterea variabilă reală, într-un interval de timp determinat (ex. 30 min), în perioada de încărcare maximă.

Determinarea prin calcul a puterilor cerute se face prin diferite metode, utilizate în funcție de stadiul proiectării și nivelul la care se efectuează calculele. Deoarece calculele trebuie efectuate la toate nivelele instalației electrice la consumator, începînd de la cele inferioare (receptoare) și pînă la cele superioare (racordul de înaltă tensiune), atît pentru tensiunile joase, sub 1 000 V, cît și pentru cele mai mari de 1 000 V, sînt preferabile acele metode care se aplică acoperitor în toate situațiile.

În continuare, se indică principalele metode de determinare a puterilor cerute în faza de proiectare și anume:

— metoda coeficienților de cerere, aplicabilă la orice nivel și în special pentru grupuri mari de receptoare, reprezentînd o secție sau o întreprindere;

— metoda formulei binome, care dă rezultate acoperitoare pentru un grup restrîns de receptoare de forță avînd puteri mult diferite între ele, fiind recomandată pentru calculul puterilor cerute în special la nivelul tablourilor de distribuție;

— metoda analizei directe, aplicabilă pentru un număr mic de receptoare, la nivelul unor tablouri de distribuție cu plecări puține, inclusiv a tablourilor de utilaj, cînd se cunosc diagramele de funcționare și încărcare ale tuturor receptoarelor;

— metodele bazate pe consumuri specifice cu raportare la unitatea de produs sau la unitatea de suprafață productivă, utilizabile, datorită preciziei reduse, numai în faza notei de fundamentare (v. par. 2.1.1);

— metodele bazate pe puterea medie și indicatori ai curbelor de sarcină [15], recomandate pentru determinarea puterii cerute la nivelele superioare, de la barele de joasă tensiune ale posturilor de transformare, la liniile de racord în înaltă tensiune.

La instalații existente, puterea cerută se determină pe baza curbelor de sarcină.

1.4.1. METODA COEFICIENȚILOR DE CERERE

Puterea activă cerută se determină prin înmulțirea puterii instalate cu un coeficient subunitar k_c, denumit coeficient de cerere

$$P_c = k_c P_i, \qquad (1.10)$$

iar puterea reactivă cerută Q_c — cu ajutorul factorului de putere cerut $\cos\varphi_c$

$$Q_c = P_c \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \varphi_c} - 1} = P_c \operatorname{tg} \varphi_c. \qquad (1.11)$$

Coeficientul de cerere k_c ține cont de randamentul η al receptoarelor, de gradul de încărcare al acestora — prin coeficientul de încărcare k_i, de simultaneitatea funcționării lor — prin coeficientul de simultaneitate k_s și de randamentul η_r al porțiunii de rețea dintre receptoare și nivelul

la care se calculează puterea cerută. Ca urmare, coeficientul de cerere este exprimat prin relația

$$k_c = \frac{k_i k_s}{\eta \eta_r}. \quad (1.12)$$

Randamentul η al receptoarelor se ia în considerare numai la acele receptoare pentru care puterea instalată P_i sau cea nominală P_n, semnifică puteri utile, cum este cazul motoarelor electrice, la care puterea nominală reprezintă puterea mecanică la arbore.

Factorul de putere cerut cos φ_c exprimă consumul de putere reactivă al receptoarelor care absorb puterea activă P_c, în condițiile reflectate global prin coeficientul de cerere.

Coeficienții de cerere și factorii de putere ceruți sînt determinați experimental pe baze statistice, pentru diferite receptoare. Toate receptoarele cărora le corespund aceleași valori pentru perechea de mărimi (k_c, cos φ_c), se încadrează într-o singură grupare, numită categorie de receptoare. Datorită diversității mari a receptoarelor și a condițiilor lor de lucru, există un mare număr de categorii de receptoare. Acestea sînt indicate în tabelul 1.3, împreună cu valorile corespunzătoare ale coeficientului de cerere și ale factorului de putere cerut.

Pentru explicitarea modului de aplicare a metodei coeficienților de cerere, se consideră un consumator de calcul, adică un ansamblu de n receptoare, încadrate în m categorii; consumatorul de calcul poate fi reprezentat de totalitatea receptoarelor, care aparțin unui tablou de distribuție, unei secții sau unei întreprinderi. O categorie k cuprinde n_k receptoare, astfel încît puterea instalată a acestora P_{ik} este conform relației (1.9)

$$P_{ik} = \sum_{j=1}^{n_k} P_{ij}, \quad (1.13)$$

iar puterea instalată totală este

$$P_i = \sum_{k=1}^{m} P_{ik} = \sum_{j=1}^{n} P_{ij}. \quad (1.14)$$

Puterea cerută de receptoarele care fac parte dintr-o aceeași categorie k, este dată de relația

$$P_{ck} = k'_{ck} P_{ik}, \quad (1.15)$$

în care k'_{ck} este coeficientul de cerere corectat al categoriei respective de receptoare.

Corecția ține seama de numărul total de receptoare

$$n = \sum_{k=1}^{m} n_k \quad (1.16)$$

și se realizează prin intermediul coeficientului k_a de influență a numărului de receptoare, conform relației

$$k'_{ck} = k_{ck} + \frac{1 - k_{ck}}{k_a}, \quad (1.17)$$

Tabelul 1.3

Coeficientul de cerere k_c și factorul de putere $\cos\varphi_c$ pentru diferite categorii de receptoare [8, 15]

Categoria receptoarelor	k_c	$\cos\varphi_c$	$\mathrm{tg}\,\varphi_c$
a) Receptoare electromecanice			
Aeroterme	0,7	0,8	0,75
Compresoare	0,8	0,8	0,75
— acționate cu motor asincron	0,75	0,8	0,75
— acționate cu motor sincron	0,75	1,0	0,00
Grupuri motor-generator	0,65	0,8	0,75
Macarale			
— cu $DA = 25\%$	0,1	0,5; 0,65	1,73; 1,17
— cu $DA = 40\%$	0,15–0,2	0,5; 0,65	1,73; 1,17
Mașini unelte de prelucrat prin așchiere			
— cu regim normal de funcționare (strunguri, raboteze, mașini de frezat, mortezat, găurit, polizoare etc.)	0,12–0,14	0,5	1,73
— cu regim greu de lucru (strunguri de degroșat, automate, revolver, de alezaj, mașini unelte mari; prese de ștanțat și cu excentric etc.)	0,2–0,25	0,6–0,65	1,33–1,17
— cu regim foarte greu de lucru (acționare ciocane, mașini de forjat, de trefilat.			
— acționarea tobelor de decapare, a tamburelor de curățire etc.).	0,3–0,4	0,65	1,17
Pompe			
— cu diafragmă, de filtrare, de ulei, verticale	0,7	0,8	0,75
— de alimentare	1	0,9	0,48
— de apă	0,7–0,8	0,8–0,85	0,75–0,62
— de vid	0,7	0,78	0,8
Unelte electrice portabile	0,1	0,45	1,99
Ventilatoare	0,65–0,75	0,8	0,75
b) Receptoare electrotermice			
Agregate motor generator de sudare			
— pentru un singur post	0,3–0,35	0,5–0,6	1,73–1,33
— pentru mai multe posturi	0,6–0,7	0,6–0,7	1,33–1,02
Convertizoare de frecvență	0,4–0,6	0,7–0,6	1,00–1,33
Cuptoare de inducție de frecvență joasă			
— fără compensarea energiei reactive	0,75–0,8	0,35	2,67
— cu compensarea energiei reactive	0,72	0,95	0,32
Cuptoare cu rezistoare			
— cu încărcare continuă	0,8–0,85	0,95–1,0	0,33–0,00
— cu încărcare periodică	0,6	0,95–1,0	0,33–0,00
c) Receptoare electrochimice			
Redresoare			
— pentru instalații de acoperiri metalice	0,5	0,7	1,00
— pentru încărcat acumulatoare de electrocare	0,6	0,7	1,00
d) Receptoare de iluminat și prize			
Depozite	0,7	— fluorescent compensat	
Hale industriale		0,90	0,48
— cu ateliere și încăperi separate	0,85		
— cu mai multe deschideri, fără separații	0,95	— fluorescent necompensat	
		0,55	1,51
Iluminat de siguranță	1,0		
Iluminat exterior	0,9	— incandescent	
Magazii, posturi de transformare	0,6	1,00	0,00

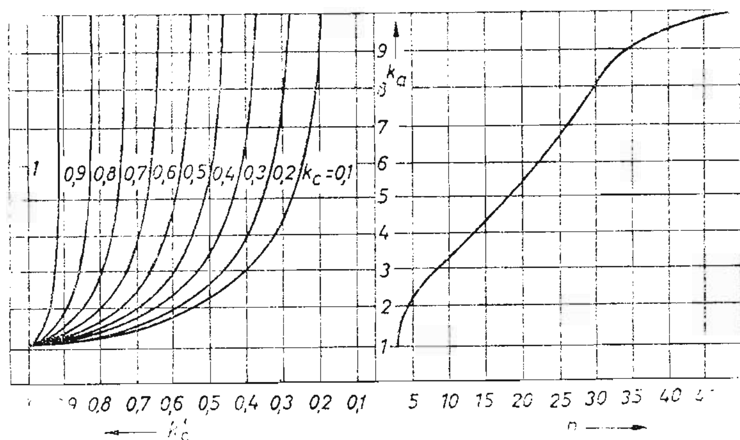


Fig. 1.2. Nomogramă pentru determinarea coeficienților de influență k_a și de cerere corectat k'_c.

în care k_{ck} este coeficientul de cerere pentru categoria de receptoare considerată, determinat din tabelul 1.3.

Nomograma din figura 1.2 indică, în partea dreaptă, dependența coeficientului de influență k_a de numărul de receptoare n ale consumatorului de calcul; în partea stîngă a nomogramei rezultă coeficientul de cerere corectat k'_c, pe baza coeficienților k_c și k_a determinați.

De remarcat că, determinarea coeficientului k_a de influență a numărului de receptoare este corect să se facă în raport cu numărul total n de receptoare al consumatorului de calcul considerat, fiind același pentru toate categoriile de receptoare din compunerea acestuia. Acest lucru este firesc avînd în vedere că ansamblul receptoarelor, indiferent de categoriile cărora le aparțin, determină în mod statistic consumul de energie electrică, datorită nesimultaneităților în funcționare și în gradele de încărcare.

Pe această bază, dintre doi consumatori de calcul cu aceleași puteri instalate totale și cu repartiții identice ale puterilor instalate pe categorii de receptoare, cel care cuprinde un număr mai mare de receptoare (cu puteri instalate mai mici) va absorbi o putere mai mică.

Orice modificare ale numărului de receptoare a consumatorului de calcul atrage după sine necesitatea actualizării valorii coeficientului de influență k_a și a determinării coeficienților de cerere corectați k'_{ck} cu relația (1.17).

În cazul în care receptoarele au puteri mult diferite, se recomandă ca determinarea coeficientului de influență să se facă în raport cu numărul de receptoare

$$n' = 2 \cdot n_{0,5}, \qquad (1.18)$$

în care s-a notat cu $n_{0,5}$ — numărul receptoarelor celor mai mari, a căror putere instalată însumată este egală cu jumătate din puterea tuturor receptoarelor.

Cazurile limită ale corecției sînt următoarele :

a. $n < 4$, cînd $k_a = 1$ și prin urmare $k'_c = 1$, adică pentru un număr de receptoare mai mic decît patru, puterea cerută este egală cu suma puteri-

lor instalate ale receptoarelor. Un astfel de consumator de calcul se poate întîlni la nivelul tablourilor de utilaj sau al celor de distribuţie care alimentează cel mult trei receptoare.

b. $n \gg 50$, $k_a \gg 10$ şi conform relaţiei (1.11) se obţine $k_c' \approx k_c$, ceea ce înseamnă că pentru un consumator de calcul cu un număr foarte mare de receptoare, corecţia coeficientului de cerere este nulă, astfel încît relaţia (1.9) devine:

$$P_{ck} = k_{ck} P_{ik}. \tag{1.19}$$

Astfel de situaţii se întîlnesc la nivelul tablourilor generale din posturile de transformare sau al tablourilor de distribuţie care alimentează un număr relativ mare de receptoare.

Avînd determinate puterile cerute de receptoarele din fiecare categorie, puterea cerută totală la nivelul consumatorului de calcul este

$$P_c = \sum_{k=1}^{m} P_{ck}. \tag{1.20}$$

Dacă într-o secţie alimentarea receptoarelor şi utilajelor s-a organizat pe cîteva (q) tablouri de distribuţie şi s-au calculat conform celor de mai sus puterile cerute la nivelurile secţiei P_{cs} şi a tablourilor P_{ct}, este evident că

$$P_{cs} < \sum_{t=1}^{q} P_{ct},$$

avînd în vedere că puterile cerute ale acestor consumatori de calcul au fost calculate pentru coeficienţi de influenţă k_a diferiţi. Asemenea inegalităţi au loc între orice trepte consecutive pe care se organizează un consumator dat.

Calculul puterilor reactive cerute se face, de asemenea, pentru fiecare categorie în parte

$$Q_{ck} = P_{ck} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{ck}, \tag{1.21}$$

puterea reactivă totală rezultînd

$$Q_c = \sum_{k=1}^{m} Q_{ck}. \tag{1.22}$$

Puterea aparentă totală absorbită de consumatorul de calcul este

$$S_c = \sqrt{P_c^2 + Q_c^2}. \tag{1.23}$$

Dacă rezultatul obţinut se încadrează între valorile

$$400 \text{ kVA} \leqslant S_c < 1\,600 \text{ kVA}, \tag{1.24}$$

la componentele activă şi reactivă se aplică reduceri prin intermediul coeficienţilor de reducere k_{ra}, pentru puterea activă şi k_{rr} — pentru puterea reactivă, conform relaţiilor

$$P_c' = k_{ra} P_c; \quad Q_c' = k_{rr} Q_c, \tag{1.25}$$

în care $k_{ra} = 0,9$, iar $k_{rr} = 0,95$. Reducerea nu se aplică dacă $S_c < 400$ kVA.

În cazul în care consumatorul de calcul este o secție sau întreaga întreprindere, puterea aparentă de calcul S'_c servește ca bază pentru alegerea transformatorului de alimentare

$$S_{nT} \geqslant S'_c = \sqrt{P'^2_c + Q'^2_c}, \tag{1.26}$$

în care S_{nT} reprezintă puterea aparentă nominală a transformatorului.

Dacă sarcina nu poate fi preluată de un singur transformator ($S'_c >$ > 1 600 kVA), se grupează receptoarele pe două sau mai multe transformatoare de puteri corespunzătoare, urmînd ca la puterile cerute ale fiecărui grup de receptoare să se aplice coeficienții de reducere menționați. Este indicat ca gruparea receptoarelor să se facă după criterii de amplasament și tehnologice.

Pentru determinarea puterilor cerute P_{ct} și Q_{ct} din rețeaua de medie tensiune, la totalul obținut după aplicarea reducerilor se adaugă pierderile active ΔP_T, respectiv reactive ΔQ_T din transformatoare (paragraful 3.6.3), conform relațiilor

$$P_{ct} = P'_c + \Delta P_T; \tag{1.27}$$

$$Q_{ct} = Q'_c + \Delta Q_T - Q_{bc}, \tag{1.28}$$

în care Q_{bc} reprezintă puterea surselor instalate pentru compensarea puterii reactive (v. subcap. 6.4).

În lipsa unor date de catalog, pierderile de putere din transformatoare se pot calcula cu relațiile

$$\Delta P_T \approx \frac{2}{100} S_T; \quad \Delta Q_T \approx \frac{10}{100} S_T, \tag{1.29}$$

în care cu S_T s-a notat suma puterilor nominale ale transformatoarelor.

În cazul consumatorilor de calcul alimentați prin n_T transformatoare, se recomandă ca valorilor determinate cu relațiile (1.27) și (1.28), să li se aplice coeficienții de simultaneitate k_{sa} — pentru puterea activă și k_{sr} — pentru puterea reactivă, rezultînd puterile cerute pe partea de medie tensiune

$$P'_{ct} = k_{sa} P_{ct}; \quad Q'_{ct} = k_{sr} Q_{ct}. \tag{1.30}$$

Coeficienții de simultaneitate sînt dați în tabelul 1.4, în funcție de numărul de transformatoare. Valorile mai mari ale coeficienților se aplică

Tabelul 1.4

Coeficienții de simultaneitate pentru consumatori alimentați prin mai multe transformatoare

Coeficientul de simultaneitate	Numărul transformatoarelor, n_T	
	$n_T = 2; 3$	$n_T > 3$
pentru puterea activă, k_{sa}	0,8...0,9	0,7...0,85
pentru puterea reactivă, k_{sr}	0,9...0,95	0,85...0,9

în industriile (metalurgică, chimică) cu receptoare funcționînd în mare parte în sarcină continuă.

Coeficientul mediu de cerere al consumatorului este

$$k_c = \frac{P'_{ct}}{P_i}. \quad (1.31)$$

Puterea aparentă cerută totală

$$S'_{ct} = \sqrt{P'^2_{ct} + Q'^2_{ct}} \quad (1.32)$$

permite determinarea factorului de putere mediu

$$\cos\varphi = \frac{P'_{ct}}{S'_{ct}}, \quad (1.33)$$

care în situația că puterea reactivă totală Q'_{ct} a fost calculată fără a se ține cont de reducerea datorată puterii reactive a surselor de compensare, se numește *factor de putere natural.*

1.4.2. METODA FORMULEI BINOME

Se utilizează pentru consumatori de calcul la nivelul unor tablouri de distribuție, conducînd la rezultate acoperitoare în ceea ce privește puterea cerută.

Conform acestei metode, receptoarele se consideră repartizate pe grupe de receptoare, puterea cerută determinîndu-se la nivelul grupelor pe baza puterii instalate P_{ik} a tuturor receptoarelor din grupa k și a puterii instalate P_{ix} a primelor x receptoare din aceeași grupă, luate în ordinea descrescătoare a puterilor lor instalate.

Puterea activă cerută de cele n_k receptoare din grupa k este

$$P_{ck} = (aP_{ix})_k + b_k P_{ik}, \quad (1.34)$$

în care a și b sînt coeficienții formulei binome, iar x numărul de receptoare pentru care se calculează P_{ix}; aceste date sînt specifice metodei de calcul după formula binomă, fiind indicate în tabelul 1.5.

Puterea cerută de cele m grupe de receptoare ale consumatorului de calcul este

$$P_c = (aP_{ix})_M + \sum_{k=1}^{m} b_k P_{ik}, \quad (1.35)$$

în care $(aP_{ix})_M$ este termenul cu valoarea cea mai mare dintre termenii $(aP_{ix})_k$;

$\sum_{k=1}^{m} b_k P_{ik}$ — suma tuturor termenilor de forma $b_k P_{ik}$, corespunzători celor m grupe de receptoare.

Puterea reactivă absorbită la nivelul consumatorului de calcul este

$$Q_c = \sum_{k=1}^{m} P_{ck} \operatorname{tg}\varphi_k, \quad (1.36)$$

Coeficienţii formulei binome

Grupul de receptoare	Nr. x	Coeficienţii a	b	cos φ	tg φ
1. Motoare electrice pentru comanda individuală a maşinilor-unelte de prelucrare a metalelor:					
— în secţii de prelucrare la cald, în serii mari şi pe bandă	5	0,5	0,26	0,65	1,17
— în secţii de prelucrare la rece, în serii mari şi pe bandă	5	0,5	0,14	0,5	1,73
— idem, în serii mici şi individuale	5	0,4	0,14	0,5	1,73
2. Motoare electrice pentru ventilatoare (condiţionare), pompe, compresoare, grupuri compresoare	5	0,25	0,65	0,8	0,75
(pentru puteri peste 100 kW se va lua puterea cerută reală la cosφ real pentru fiecare motor în parte).					
3. Motoare electrice ale mecanismelor de transport continuu şi de prelucrare a nisipurilor şi pămînturilor în turnătorii:					
— fără interblocări	5	0,4	0,4	0,75	0,88
— cu interblocări	5	0,2	0,6	0,75	0,88
4. Poduri rulante şi macarale:					
— în cazangerii, secţii de reparaţii şi de montaj, în ateliere mecanice şi altele asemănătoare	3	0,2	0,06	0,5	1,73
— în turnătorii	3	0,3	0,09	0,5	1,73
— în oţelării Siemens-Martin	3	0,3	0,11	0,5	1,73
— la laminoare, maşini de treierat şi recoltat	3	0,3	0,18	0,5	1,73
5. Ateliere termice:					
— cuptoare electrice cu rezistenţă cu încărcare automată (continuă)	2	0,3	0,7	0,95	0,33
— idem, cu încărcare neautomată (periodică)	1	0,5	0,5	0,95	0,33
— receptoare termice mici, în instalaţii de tip laborator (uscătoare, încălzitoare etc.)	0	0	0,7	1	0
6. Maşini de sudare:					
— prin puncte şi prin cusătură	0	0	0,35	0,6	1,33
— cap la cap	0	0	0,35	0,7	1,02
7. Transformatoare de sudare:					
— pentru sudare automată	0	0	0,5	0,5	1,73
— pentru sudare manuală cu arc cu un singur punct de lucru	0	0	0,35	0,4	2,30
— idem, cu mai multe puncte de lucru	0	0	0,7—0,9	0,5	1,73
8. Grupuri convertizoare de sudare (motor-generator):					
— cu un singur punct de lucru	0	0	0,35	0,5	1,73
— cu mai multe puncte de lucru	0	0	0,6—0,9	0,75	0,88
9. Acţionări electrice în industria chimică cu flux tehnologic neîntrerupt (compresor, pompe, ventilatoare, amestecătoare şi centrifuge)	3	0,5	0,5	0,86	0,61

Observaţii. *1.* Pentru podurile rulante se pot aplica metode mai exacte de determinare a puterii cerute dacă se dispune de curbele de încărcare ale fiecărui motor electric;

2. Puterea P_n a grupurilor de receptoare pentru sudare se determină înmulţindu-se puterea nominală S_n în kVA, cu factorul de putere nominal, pentru care se pot adopta valorile:

— transformatoare de sudare 0,5;
— maşini de sudare prin puncte şi prin cusătură 0,7;
— maşini de sudare cap la cap . . . . 0,8.

în care tg φ_k reprezintă tangenta corespunzătoare factorului de putere introdus de receptoarele din grupa k, mărime de asemenea indicată în tabelul 1.5.

Puterea aparentă cerută și valoarea medie a factorului de putere se calculează cu relațiile (1.23), respectiv (1.33).

1.4.3. METODA ANALIZEI DIRECTE

Această metodă este recomandată pentru calculul puterii cerute de consumatori de calcul cu un număr redus de receptoare, de căror diagrame de sarcină sînt cunoscute. Astfel de consumatori sînt:

— tablourile de utilaj;

— tablourile de distribuție cu plecări puține;

— tablourile generale cu un număr redus de plecări la subconsumatori mici sau neindustriali, cu puteri mici, cînd se cunosc caracteristicile de funcționare ale acestora și cînd puterea instalată pentru iluminat reprezintă mai mult de 60 ... 75% din întreaga putere instalată.

Metoda constă în determinarea directă a coeficientului de cerere, conform relației (1.12), deoarece în astfel de situații, valorile factorilor care intervin pot fi calculate sau apreciate cu o bună aproximație.

Coeficientul de încărcare k_i este dat de relația

$$k_i = \frac{P_r}{P_s}, \tag{1.37}$$

în care P_r este puterea reală cu care sînt încărcate receptoarele, iar P_s — puterea în funcție simultană; în mod obișnuit $k_i = 0{,}9 \ldots 0{,}95$.

Coeficientul de simultaneitate este

$$k_s = \frac{P_s}{P_i}, \tag{1.38}$$

în care P_s are semnificația de mai sus, iar P_i este puterea instalată. Pentru consumatori de calcul cuprinzînd numai receptoare de iluminat, valorile coeficienților de simultaneitate sînt date în tabelul 1.6; pentru receptoare

Tabelul 1.6

Coeficientul de simultaneitate k_s pentru consumatori cuprinzînd numai receptoare de iluminat

Destinația construcției sau instalației	k_s
Construcții industriale și administrative	0,8
Complexe comerciale	1,0
Construcții de locuințe:	
2 ÷ 4 apartamente	1,0
5 ÷ 9 ,,	0,78
10 ÷ 14 ,,	0,63
15 ÷ 19 ,,	0,53
peste 20 ,,	0,49
Depozite	0,5
Iluminat exterior și iluminat de siguranță	1,0
Spitale	0,65

de forță, acești coeficienți se determină pe baza diagramelor de sarcină, din care rezultă P_s, și a puterii instalate P_i, conform relației (1.38).

Randamentul mediu al receptoarelor η se determină ca medie ponderată a randamentelor nominale η_{nj} ale receptoarelor, în raport cu puterile instalate. Dacă puterile instalate P_{ij} sînt puteri electrice (absorbite), relația de calcul este

$$\eta = \frac{\sum_{j=1}^{n} \eta_{nj} P_{ij}}{\sum_{j=1}^{n} P_{ij}}, \tag{1.39}$$

iar dacă acestea se referă la puteri utile (mecanice — cazul motoarelor electrice), se utilizează relația

$$\eta = \frac{\sum_{j=1}^{n} P_{ij}}{\sum_{j=1}^{n} \frac{P_{ij}}{\eta_{nj}}}, \tag{1.40}$$

în care n este numărul de receptoare.

Randamentul rețelei η_r se calculează ținînd seama de pierderile de putere; în mod obișnuit $\eta_r = 0,98 \ldots 1$.

Avînd determinați toți factorii, se calculează coeficientul de cerere cu relația (1.12). Puterea activă cerută se obține, în acest caz, din puterea instalată cu ajutorul coeficientului de cerere

$$P_c = k_c P_i. \tag{1.41}$$

Pentru calculul puterii reactive cerute, este necesară determinarea factorului de putere mediu $\cos \varphi_m$ al receptoarelor, din condiția de egalitate a puterii aparente absorbite de cele n receptoare cu puterea aparentă a unui receptor echivalent. Aceasta conduce la relația

$$\cos \varphi_m = \frac{\sum_{j=1}^{n} P_{ij}}{\sum_{j=1}^{n} \frac{P_{ij}}{\cos \varphi_{nj}}}, \tag{1.42}$$

dacă P_{ij} reprezintă putere electrică absorbită sau

$$\cos \varphi_m = \frac{\sum_{j=1}^{n} \frac{P_{ij}}{\eta_{nj}}}{\sum_{j=1}^{n} \frac{P_{ij}}{\eta_{nj} \cos \varphi_{nj}}}, \tag{1.43}$$

dacă P_{ij} reprezintă putere utilă.

Puterea reactivă cerută este

$$Q_c = P_c \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \varphi_m} - 1}, \tag{1.44}$$

iar puterea aparentă

$$S_c = \frac{P_c}{\cos \varphi_m}. \tag{1.45}$$

1.4.4. METODA DURATEI DE UTILIZARE A PUTERII MAXIME

Se folosește pentru determinarea puterii cerute la nivel de întreprindere sau platformă industrială, atunci cînd se cunoaște consumul specific de energie electrică W_0 pe unitatea de producție. Din această cauză, metoda se mai numește și a *consumurilor specifice.*

Dacă se notează cu A producția anuală a întreprinderii, în unități de măsură corespunzătoare (tone, metri pătrați, bucăți etc.), consumul anual de energie pentru acest consumator de calcul este

$$E_a = W_0 \cdot A. \tag{1.46}$$

În lipsa unor date certe, referitoare la consumul specific de energie electrică pentru produse și activități industriale, se recomandă consultarea lucrări [15].

Tabelul 1.7

Durata de utilizare t_{PM} a puterii active maxime

Felul consumatorului	t_{PM} [h]	
	lucrul în două schimburi	lucrul în trei schimburi
Combinate de carne	—	3 500÷3 800
Combinate mari de carne, fabrici de conservat carnea, întreprinderi de prepararea cărnii	—	5 600÷5 800
Combinate mari de păsări	—	3 000÷3 100
Construcții de mașini	2 500	4 000÷4 400
Fabrici de uleiuri	—	6 200÷6 300
Fabrici de gelatină	—	5 300÷5 500
Fabrici de încălțăminte	3 000÷3 500	5 000
Fabrici de preparare a păsărilor	—	6 400÷6 500
Industria alimentară	2 500	4 000÷5 000
Industria chimică	—	5 800÷6 500
Industria electrotehnică	—	5 000
Industria hîrtiei și celulozei	—	5 500
Industria minieră	—	5 000÷5 500
Industria textilă	4 000	4 500
Intreprinderi frigorifice	—	4 000
Întreprinderi de lapte dietetic	—	4 800÷5 000
Întreprinderi mari de produse lactate	—	7 200÷7 500
Metalurgie	—	6 500
Poligrafie	3 000	—
Prelucrarea lemnului	2 200÷2 500	4 600
Reparația automobilelor și vagoanelor	3 400	—
Uzine de reparații	2 500	4 500

Observații. *1.* Pentru întreprinderi lucrînd într-un singur schimb se consideră $t_{PM} = 2\,500 \div 3\,000$;

2. pentru iluminatul interior $t_{PM} = 1\,500 \div 2\,500$, iar pentru cel exterior $t_{PM} = 2\,500 \div 3\,000$.

Puterea cerută P_c se determină cu relația

$$P_c = \frac{E_a}{t_{PM}}, \qquad (1.47)$$

în care t_{PM} reprezintă durata (timpul) de utilizare a puterii maxime cerute, avînd valori dependente de specificul consumatorului, conform tabelului 1.7.

Fiind o metodă specifică notei de fundamentare tehnico-economică, nu se prevede calculul puterilor reactive și aparente cerute.

1.5. CURBE DE SARCINĂ

1.5.1. DEFINIȚIE. CLASIFICĂRI

Datorită imposibilității de a se stoca energia electrică, satisfacerea necesarului de energie la consumatori impune cunoașterea nu numai a puterilor cerute, ci și a modului de variație a consumului, sub forma curbelor de sarcină.

Curbele de sarcină prezintă variația în timp a sarcinilor electrice, pe o perioadă determinată.

La consumatori, ca și la celelalte părți componente ale sistemului energetic (centrale, rețele), se deosebesc diferite curbe de sarcină, după felul sarcinii, durata t_c a ciclului la care se referă și proveniență.

După felul sarcinii, se evidențiază curbe de sarcini *active* și curbe de sarcini *reactive*, acestea fiind practic cel mai des întrebuințate. Se trasează curbe de sarcină și pentru puterea aparentă, ca și pentru curent.

După durata t_c a ciclului, pentru care redau variațiile sarcinii, curbele de sarcină pot fi:

— *zilnice*, la care durata ciclului este de 24 h și dintre care două sînt mai importante, cea caracteristică pentru *vară* (în intervalul 18 ... 25 iunie) și cea pentru *iarnă* (18 ... 25 decembrie);

— *anuale*, la care durata ciclului este de 8 760 h (12 luni sau 365 zile).

După proveniență se deosebesc următoarele curbe de sarcină:

— *experimentale*, obținute prin citirea aparatelor indicatoare la intervale egale de timp (din 10 în 10 minute sau din 30 în 30 minute) sau trasate de către aparatele înregistratoare;

— *tip*, care sînt obținute prin generalizarea curbelor experimentale, specifice unor ramuri sau subramuri industriale. Aceste curbe prezintă o importanță deosebită pentru proiectare.

Sarcinile electrice pot fi reprezentate pe curbele de sarcină fie în valori absolute, fie în valori raportate la valoarea maximă.

În figura 1.3 se prezintă curbele zilnice (iarna) de sarcină activă și reactivă, în valori raportate, pentru un consumator din ramura construcțiilor de mașini, la care lucrul este organizat în două schimburi. Numărul de schimburi influențează într-o măsură hotărîtoare alura curbei de sarcină zilnică. Aceasta se poate observa din figura 1.4, în care sînt prezentate

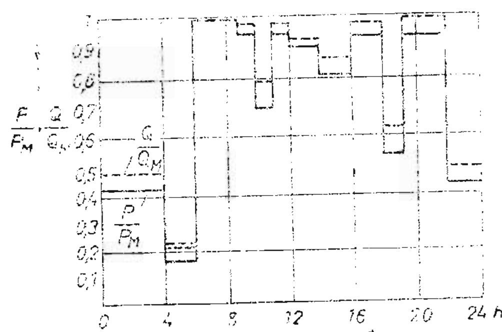


Fig. 1.3. Curbele zilnice de sarcină activă şi reactivă (iarna) pentru o întreprindere constructoare de maşini lucrînd în două schimburi.

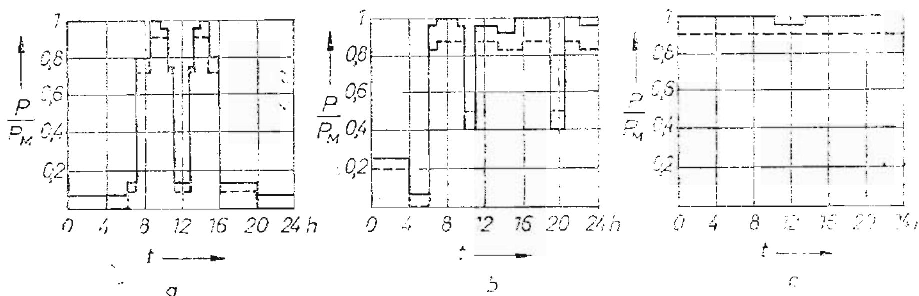


Fig. 1.4. Curbele zilnice de sarcină activă iarna (linie continuă) şi vara (linie întreruptă) pentru un consumator la care lucrul este organizat:
a — într-un schimb; b — în două schimburi; c — în trei schimburi.

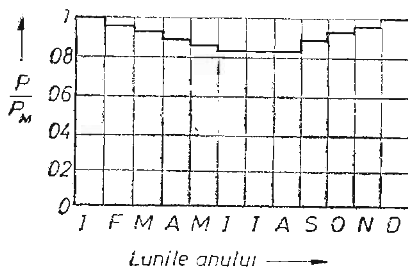


Fig. 1.5. Curba de sarcină activă anuală a unei întreprinderi.

curbele de sarcină activă zilnică, în valori raportate, în trei situaţii — după numărul de schimburi (unul, două sau trei) în care este organizat lucrul.

La curba de sarcină anuală, reprezentată în figura 1.5 pentru puterea activă, sarcina corespunzătoare unei luni se obţine prin efectuarea mediei aritmetice a sarcinilor maxime zilnice pe interval de o lună.

1.5.2. INDICATORII CURBELOR DE SARCINĂ

Consumul de energie electrică conform curbelor de sarcină poate fi caracterizat printr-o serie de mărimi — puteri, durate, coeficienţi adimensionali — numite indicatori ai curbelor de sarcină. Definirea acestor indica-

tori se face, în cele ce urmează, în legătură cu o curbă de sarcină oarecare, prezentată în figura 1.6, în care notațiile s-au făcut numai pentru puteri active; indicatorii referitori la puterile reactive se vor defini în mod similar. Se consideră că această curbă de sarcină se referă la un consumator avînd puterea instalată P_i.

Pe parcursul ciclului, avînd durata t_c, se înregistrează un consum maxim P_M cu o durată mai mare de 15 min; dacă $t_c = 24$ h și curba este trasată pentru anotimpul rece (iarna), deci este vorba de curba de sarcină zilnică — iarna, atunci P_M reprezintă consumul maxim posibil, adică tocmai puterea cerută

$$P_{Mi} = P_c. \qquad (1.48)$$

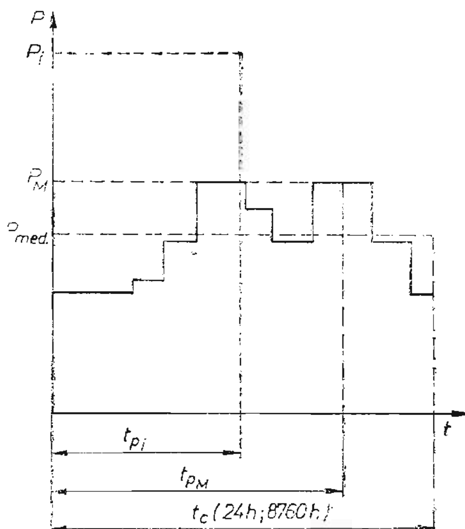


Fig. 1.6. Explicativă la indicatorii curbelor de sarcină.

Prin planimetrarea curbelor de sarcină se obține consumul de energie activă

$$E_a = \int_0^{t_c} P\mathrm{d}t = \sum_j P_j \Delta t_j, \qquad (1.49)$$

respectiv reactivă

$$E_r = \int_0^{t_c} Q\mathrm{d}t = \sum_j Q_j \Delta t_j, \qquad (1.50)$$

în care j este indicele de însumare pentru energiile corespunzătoare diferitelor segmente orizontale din curba de sarcină, avînd ordonatele P_j, respectiv Q_j și lungimile (duratele) — Δt_j. Aceste calcule se fac, în general, numai pentru curba de sarcină anuală.

a. *Puterea medie* este indicatorul cu semnificația unei puteri constante în timp, care ar determina un consum de energie echivalent cu cel real. Puterea activă medie este

$$P_{med} = \frac{E_a}{t_c}, \qquad (1.51)$$

iar cea reactivă medie

$$Q_{med} = \frac{E_a}{c}. \qquad (1.52)$$

Între valorile caracteristice ale puterii active — instalată, maximă și medie — există relațiile de inegalitate

$$P_{med} < P_M < P_i. \qquad (1.53)$$

b. *Duratele de utilizare* indică în cît timp s-ar produce întreg consumul de energie, dacă s-ar funcționa constant la una din puterile caracteristice. Acestea sînt :

— duratele de utilizare ale puterilor maxime absorbite, corespunzătoare unui consum constant, la puterile maxime, avînd expresiile

$$t_{PM} = \frac{E_a}{P_M}, \tag{1.54}$$

pentru puterea activă și

$$t_{QM} = \frac{E_r}{Q_M}, \tag{1.55}$$

pentru puterea reactivă. Valori caracteristice pentru durata de utilizare a puterii active maxime, în decurs de un an, sînt indicate în tabelul 1.7 ;

Tabelul 1.8

Duratele t_{Pi} și coeficienții K_{Pi} de utilizare a puterii active instalate

Sectorul de producție sau activitate	t_{Pi} [h]	K_{Pi}	Sectorul de producție sau activitate	t_{Pi} [h]	K_{Pi}
Bere	1 750÷2 000	0,20÷0,23	Industrializarea cărnii	2 200÷3 100	0,25÷0,35
Celuloză și hîrtie	2 500÷3 200	0,31÷0,36	Industrializarea peștelui	2 200÷3 100	0,25÷0,35
Ceramică	1 750÷2 600	0,20÷0,30	Mase plastice	2 200÷3 100	0,25÷0,35
Cherestea	2 600÷3 500	0,30÷0,40	Materiale refractare	2 600÷3 100	0,30÷0,35
Ciment	4 800÷5 700	0,55÷0,65	Metalurgia feroasă	1 750÷2 200	0,20÷0,25
Confecție	1 750÷2 200	0,20÷0,25	Metalurgia neferoasă	1 750÷2 200	0,20÷0,25
Construcții de mașini grele	1 750÷2 100	0,20÷0,24	Prefabricate de beton	1 750÷2 200	0,20÷0,30
Construcții și produse metalice	1 300÷1 750	0,15÷0,20	Prepararea cărbunelui	3 300÷3 700	0,38÷0,42
			Prepararea cocsului	3 200÷3 500	0,36÷0,40
Diverse materiale de construcții	2 200÷3 100	0,25÷0,35	Poligrafie	1 750÷3 100	0,20÷0,35
Extracția cărbunelui	2 600÷3 300	0,30÷0,38	Porțelan, faianță	1 750÷2 600	0,20÷0,30
Extracția țițeiului	2 700÷3 100	0,29÷0,35	Rafinarea țițeiului	2 900÷3 300	0,33÷0,38
Extragerea și prepararea minereurilor neferoase	3 300÷4 200	0,38÷0,48	Reparații de mașini și utilaje	1 000÷1 300	0,12÷0,15
			Spirt, drojdie	3 100÷4 400	0,35÷0,50
Fabrică de mobilă	1 200÷2 600	0,14÷0,30	Textile	2 450÷4 000	0,28÷0,45
Industria laptelui	2 200÷2 800	0,25÷0,32	Transportul gazului metan	1 600	0,18
			Ulei comestibil	2 200÷2 500	0,25÷0,28

— duratele de utilizare a puterilor instalate, corespunzătoare consumului constant la o putere egală cu cea instalată. Pentru puterea activă instalată se obține durata de utilizare cu relația

$$t_{Pi} = \frac{E_a}{P_i}, \tag{1.56}$$

valori orientative pentru această mărime fiind prezentate în tabelul 1.8, iar pentru puterea reactivă instalată

$$t_{Qi} = \frac{E_r}{Q_i}. \tag{1.57}$$

Din definițiile de mai sus, rezultă că pentru energia activă se poate scrie relația de echivalență

$$E_a = P_{med} \cdot t_c = P_M \cdot t_{PM} = P_i \cdot t_{Pi} \tag{1.58}$$

și similar — pentru cea reactivă

$$E_r = Q_{med} \cdot t_c = Q_M \cdot t_{QM} = Q_i \cdot t_{Qi}. \tag{1.59}$$

c. *Coeficienții de utilizare* se obțin prin raportarea puterilor medii la celelalte două valori caracteristice ale puterii — maximă și instalată, după cum urmează:

— coeficienții de utilizare a puterii maxime sînt

$$K_{PM} = \frac{P_{med}}{P_M}; \quad K_{QM} = \frac{Q_{med}}{Q_M}; \tag{1.60}$$

dacă $t_c = 24$ h, coeficientul de utilizare a puterii active maxime corespunzător curbei de sarcină zilnică, obținut conform relației (1.60), se mai numește și coeficient de umplere sau aplatisare a curbei, fiind folosit în calculele de determinare a puterilor transformatoarelor (v. par. 3.4.3). Valori caracteristice pentru acest coeficient sînt indicate în tabelul 1.9;

— coeficienții de utilizare a puterii instalate active

$$K_{Pi} = \frac{P_{med}}{P_i}, \tag{1.61}$$

cu valori precizate în tabelul 1.8 și reactive

$$K_{Qi} = \frac{Q_{med}}{Q_i}. \tag{1.62}$$

Dacă pentru un consumator de calcul, reprezentat de o secție sau întreprindere, se cunosc puterea instalată, durata de utilizare a acesteia (tab. 1.8) și durata de utilizare a puterii maxime (tab. 1.7), determinarea puterii maxime se poate face cu relația

$$P_M = \frac{t_{Pi}}{t_{PM}} P_i. \tag{1.63}$$

Avînd în vedere relația (1.48), această putere maximă reprezintă tocmai puterea cerută. Rezultatul calculului după relația (1.63) poate fi comparat cu cel obținut pe baza metodei duratei de utilizare a puterii maxime, conform relației (1.47).

Tabelul 1.9

Coeficientul de utilizare K_{PM} a puterii active maxime, din curba de sarcină zilnică

Felul consumatorului	K^{*}_{PM}
Combinat siderurgic	0,932
Fabrică de ciment	0,809
Fabrică de mobilă	0,689
	0,861**
Fabrică de tricotaj	0,730
	0,862**
Fabrică de zahăr	0,886
Iluminatul exterior	0,290÷0,400
Iluminatul interior	0,170÷0,290
Întreprindere chimică	0,861
Întreprindere de colectarea și prelucrarea laptelui	0,800
Întreprindere de industrializarea cărnii	0,623
Întreprindere industrială lucrînd :	
— într-un singur schimb	0,230÷0,337
— în două schimburi	0,400÷0,570
— în trei schimburi	0,570÷0,834
	0,962**
Întreprindere metalurgică prelucrătoare	0,564
	0,595**
Întreprindere minieră	0,902
	0,889**
Turnătorie	0,558

* Conform curbelor de sarcină din lucrarea [18].
** Valorile corespund după aplicarea măsurilor de reducere a puterii în orele de vîrf.

Din relațiile (1.63), (1.48) și (1.31), se deduce coeficientul mediu de cerere al consumatorului

$$k_c = \frac{t_{Pi}}{t_{PM}}, \tag{1.64}$$

egal cu raportul dintre durata de utilizare a puterii instalate și cea a puterii maxime.

În afara indicatorilor menționați, la dimensionarea puterii transformatoarelor pe baza suprasarcinilor admisibile, este necesar să se cunoască raportul P_{Mv}/P_{Mi}, dintre puterea activă maximă vara P_{Mv} și cea maximă iarna P_{Mi}. Se recomandă [15], ca determinarea acestui raport să se facă din curba de sarcină anuală, dar se ajunge la rezultate apropiate dacă se raportează valorile maxime din curbele de sarcină zilnică, trasate pentru cele două perioade caracteristice — vara și iarna. În lipsa unor date concrete, pot fi utilizate orientativ, următoarele valori pentru raportul P_{Mv}/P_{Mi} ;

— 0,75 ... 0,85, pentru întreprinderi lucrînd într-unul sau două schimburi ;

— 0,85 ... 0,9, pentru întreprinderi lucrînd în trei schimburi.

Capitolul 2

DOCUMENTAȚIA TEHNICO-ECONOMICĂ A INSTALAȚIILOR ELECTRICE

La baza elaborării documentației tehnico-economice stau prevederile Legii Investițiilor nr. 9 din 18 decembrie 1980, privind elaborarea, avizarea și aprobarea documentațiilor tehnico-economice pentru obiective de investiții. Obiectivele de investiții se referă la construcții-instalații și inginerie tehnologică.

Elaborarea DTE a unui obiectiv implică relații între:

— beneficiarul obiectivului, unitatea care comandă lucrarea și are aprobată finanțarea acesteia (minister, centrală, întreprindere, altă unitate socialistă, consiliu popular);

— proiectantul obiectivului, unitatea de cercetare științifică, inginerie tehnologică și de proiectare;

— executantul obiectivului, întreprinderea specializată în profilul respectiv sau unitatea proprie de execuție a beneficiarului;

— furnizorii de materiale, aparate, echipamente, utilaje sau linii tehnologice, din țară sau străinătate;

— alte organe competente — Banca de investiții, ministere, alte organe centrale, comitetele și birourile executive ale sfaturilor populare etc.

În conformitate cu prevederile Legii investițiilor, DTE, a unui obiectiv se compune din:

— nota de comandă NC;

— proiectul de execuție PE.

În tabelul 2.1 sînt prezentate noțiunile tehnice (obiectiv compus din obiecte, care la rîndul lor se compun din părți de obiecte, respectiv ansambluri și elemente sau repere) și economice corespunzătoare, cu exemplificări referitoare la instalațiile electrice, noțiuni ce formează obiectul următoarelor paragrafe.

Simbolurile utilizate în continuare:

AM — antemăsurătoarea;
BC — breviarul de calcul;
BD — borderoul documentației;
DD — documentația desenată (piese desenate);
DDE — detalii și devize de execuție;
DE — desene (detalii) de execuție;
DEc — documentația economică;
DG — devizul general;
DTE — documentația tehnico-economică;
EM — extrasul de materiale;
FT — foaia de titlu;
GA — grafice și acorduri;

Tabelul noţiunilor tehnico-economice necesare elaborării documentaţiei tehnico-economice

Noţiunea tehnică	Obiectiv	Obiect	Părţi de obiect	
			Ansamblu Subansamblu	Element (reper)
Exemple	Întreprindere	Secţie a întrepr.; staţie de transf.; post de transf.; linie electrică	Linie tehnologică, circ. primare, circ. secundare, instal. auxiliare etc.	Conducte el., aparate el., constr. metalice, de beton etc.
DTE corespunzător	NC, PE	DDE		
Noţiunea economică	Deviz general	Deviz pe obiect inclusiv LUTM	Deviz pe categorii de lucrări (pe părţi de obiect), AM, LUTM, EM	Articol de lucrări (normă de deviz, artic. de deviz), NL.
Clasificare şi codificare		Lista claselor de obiecte din CUPS	Nomenclatoare specifice pe părţi de obiect	Indicatoare de norme de deviz. Cataloage de preţuri unitare pe artic. de deviz

Observaţie. În paranteze sînt indicate denumirile care sînt utilizate încă de proiectanţi şi unele normative.

ITE — indicatori tehnico-economici ai obiectivului;
LUTM — lista utilajelor tehnologice care necesită montaj;
MG — memoriul general;
MT — memoriul tehnic;
NC — nota de comandă;
NFTE — nota de fundamentare tehnico-economică;
NL — normă de deviz locală;
PE — proiectul de execuţie;
POS — proiectul de organizare a şantierului.

Fiecare fază a DTE conţine piese scrise şi piese desenate.

Piesele scrise vor fi redactate în conformitate cu STAS 6857/2—77 „Condiţii generale pentru documente scrise", care cuprinde şi foaia de titlu FT, prima pagină a fiecărui document. Borderoul documentaţiei BD, cuprinzînd lista pieselor scrise şi desenate se întocmeşte în conformitate cu prevederile STAS 4659—78, indicîndu-se:

— denumirea şi numărul de pagini al pieselor scrise;

— denumirea şi numărul pieselor desenate în ordinea sistematizării lor pe ansambluri, subansambluri şi elemente, prevăzută de sistemul de codificare al desenelor din STAS 4597—64.

Modul de redactare a pieselor desenate este indicat în STAS 6857/1—78 „Condiţii generale pentru desene de execuţie" şi în cadrul paragrafului 2.4.

2.1. NOTA DE COMANDĂ NC

Începerea activității de proiectare se referă la elaborarea, avizarea și aprobarea notei de comandă pentru întocmirea proiectului obiectivului de investiții.

NC este emisă de beneficiarul lucrării, fiind elaborată de acesta împreună cu proiectantul, aprobarea și avizarea revenind organelor competente indicate în cele ce urmează.

NC, cuprinzînd indicatorii tehnico-economici limită ai soluției optime ce urmează a fi proiectată în detaliu, are la bază:

— studii și cercetări;
— nota de fundamentare tehnico-economică.

2.1.1. STUDII ȘI CERCETĂRI

Studiile și cercetările, necesare pentru înscrierea obiectivului de investiții în planul cincinal, sînt următoarele:

a) prognoze macroeconomice pe ramuri și sectoare ale vieții sociale, pe subramuri, grupe de produse și în profil teritorial;

b) studii de dezvoltare în perspectivă a ramurilor, subramurilor și grupelor de produse, studii de dezvoltare a economiei locale, cercetări și studii privind desfacerea produselor pe piață internă și la export;

c) programe speciale de modernizare și asimilare;

d) studii de sistematizare teritorială, studii de dezvoltare a sistemului energetic și studii de amplasament;

e) cercetări și studii privind perfecționarea proceselor tehnologice;

f) alte studii și cercetări necesare pentru fundamentarea investițiilor.

2.1.2. NOTA DE FUNDAMENTARE TEHNICO-ECONOMICĂ NFTE

NFTE stabilește necesitatea și oportunitatea investiției, permițînd înscrierea obiectivului în planul de investiții.

Pe baza comparației indicatorilor tehnico-economici ai diferitelor variante și soluții, NFTE recomandă în final varianta sau soluția optimă. Comparația se face și cu obiective similare, cu performanțe tehnico-economice ridicate, din țară și străinătate.

Piesele scrise ale NFTE sînt: FT, BD și memoriul tehnic MT. Piesele desenate sînt schemele funcționale ale variantelor sau soluțiilor.

Principalele elemente ale MT sînt indicate în cele ce urmează:

1. *Analiza situației energetice:*

a) necesitatea și oportunitatea lucrării;

b) capacitatea și caracteristicile noilor consumatori de energie electrică (pe categorii) a căror alimentare urmează a fi soluționată:

— puterea maximă simultan absorbită, pe variante, cu eșalonarea pînă la etapa finală;

— sensibilitatea consumatorului la calitatea energiei electrice (tensiuni utilizate, variații admise de tensiune și frecvență, factorul de putere, continui-

tatea în alimentarea cu energie electrică și consecințe în cazul întreruperii alimentării, condiții speciale de siguranță, regim deformant, regim dezechilibrat);

— dinamica consumului de energie electrică pe categorii de consumatori;

— caracteristicile motoarelor electrice (frecvența și felul pornirii);

— gradul de poluare al zonei;

c) situația energetică din zonă în prezent și în perspectiva următorilor 10 ani:

— capacitatea de producere, de transport și distribuție a energiei electrice;

— analiza balanței energetice a zonei, în regim normal și de avarie; condiții care determină modificarea configurației rețelelor;

— gradul de încărcare al instalațiilor;

— amplasarea surselor față de centrul de greutate al consumatorului

La baza analizei energetice stă chestionarul energetic, pentru obținerea acordului unic pentru energie electrică — prezentat în tabelul 2.2, aprobat de către întreprinderea furnizoare de energie electrică.

Tabelul 2.2

CHESTIONAR
pentru obținerea acordului unic pentru energie electrică
(formular)

Nr. crt.	Datele energetice ale consumatorului	Receptoare	U/M	Situația existentă în anul		Spor de putere etapizat pentru anul				Situația finală anul
				198_	198_					
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Observații. Datele energetice ale consumatorului sînt:

I. 1. Puterea instalată în receptoare, pe categorii
2. Puterea maximă simultan absorbită, pe categorii
3. Puterea totală maximă absorbită; — în afara vîrfului de sarcină; — în vîrful de sarcină.
4. Repartizarea puterilor totale maxime absorbite (în % din puterea totală maximă absorbită, pe schimburi)
5. Proiectant general (denumire, adresă)
6. Proiectanți de specialitate.
II. Poziția lucrării în planul unic de dezvoltare economico-socială.
III. Termenele de intrare în funcțiune, parțiale și finale, ale obiectivului.
IV. Situația existentă
V. Plan de situație *a)* cu amplasament, surse de energie electrică și puncte de racord; *b)* poluarea de fond în zonă.
VI. Necesarul de energie electrică
VII. Elemente pentru stabilirea soluției de alimentare cu energie electrică. Bilanț energetic.
VIII. Randamente energetice ale utilajelor și instalațiilor
IX. Principalele norme de consum energetic pe produse *a)* instalații existente; *b)* instalații noi proiectate
X. Surse secundare.

2. *Soluții de alimentare cu energie electrică:*

a) se prezintă pe soluții și variante, posibilitățile de alimentare cu energie electrică a noilor consumatori, indicîndu-se modul de încadrare în sistem și regimurile caracteristice de funcționare;

b) principalele caracteristici tehnice și constructive ale instalațiilor existente și ale celor proiectate:

— configurația rețelelor electrice de transport și distribuție și încadrarea în zonă a instalațiilor proiectate;

— capacitatea stațiilor, punctelor de alimentare, posturilor de transformare și rețelelor electrice;

— elemente de justificare a rezervei în linii sau surse;

— concluzii rezultate în urma dimensionării conductelor și echipamentului electric (circulația puterilor, nivele de tensiuni, nivele de scurtcircuit, consum propriu tehnologic etc.);

— siguranța alimentării cu energie electrică;

— exploatarea instalațiilor (cu personal în tură sau la domiciliu, fără personal, telecomandată);

— măsuri de prevenire și stingere a incendiilor (PSI);

— condiții naturale și de poluare, măsuri contra poluării;

— măsuri de protecție împotriva supratensiunilor atmosferice și a celor de comutație;

— măsuri de protecție împotriva electrocutării;

— gradul de utilizare a instalațiilor existente;

c) soluții constructive analizate:

— descrierea soluțiilor constructive și caracteristicile principale ale conductelor și echipamentelor utilizate (din țară și din import);

— utilizarea la maximum a suprafețelor construite existente;

— caracteristicile construcțiilor (materiale, fundații, înălțimi, grad de industrializare);

— lucrări de alte specialități (protecția LTc și legături Tc, racorduri la instalații de apă, termoficare, canalizare, drumuri, gaze);

— lucrări de folosință comună, cu indicarea obiectivelor respective și a beneficiarilor acestora, pentru asigurarea unui grad maxim de cooperare cu unitățile din zonă;

— soluții pentru organizarea de șantier, posibilități de cooperare cu alte unități din zonă.

3. *Compararea tehnico-economică a soluțiilor și variantelor analizate* (par. 2.3):

— evaluarea soluțiilor și a variantelor pe bază de indicatori limită de prețuri și materiale rezultați din lucrări asemănătoare sau stabiliți de forurile superioare;

— valoarea investiției specifice (în lei/kVA instalat, lei/km etc);

— compararea tehnico-economică a soluțiilor și variantelor studiate, propunerea soluției sau a variantei optime;

— concluzii privind soluția sau varianta propusă, valoarea totală a lucrărilor, din care valoarea lucrărilor de construcții-montaj (C+M); valoarea importurilor pe relații în lei și lei valută; numărul de personal necesar (la stații); precizări referitoare la delimitarea exploatării instalațiilor;

— lista cu principalele utilaje tehnologice și materiale din țară și import pentru soluția propusă.

4. *Acorduri de principiu din partea forurilor indicate în par. 2.2.1.*
Piesele desenate ale NFTE sînt:

1. Planul de situaţie al zonei (scara 1 : 25000 ... 1 : 5000) cu amplasamentul lucrării, instalaţiile electroenergetice existente, precum şi soluţiile şi variantele studiate.

2. Schema electrică monofilară de încadrare în sistem a instalaţiilor, analizată pe soluţii şi variante.

3. Planul cu sistematizarea reţelelor analizate şi a ieşirilor din staţii.

4. Schemele electrice de alimentare şi schemele de amplasamente şi trasee ale staţiilor de transformare, punctelor de alimentare, posturilor de transformare, iluminat exterior, iluminat interior, forţă etc.

5. Planul de situaţie (scara 1 :1000 ... 1 :500) cu amplasamentul staţiilor şi posturilor de transformare.

2.1.3. NOTA DE COMANDĂ

NC cuprinde datele necesare începerii proiectului de execuţie, respectiv indicatorii tehnico-economici limită ai soluţiei sau variantei optime indicate de NFTE.

Piesele scrise ale NC sînt: FT, BD şi NC (sau MT). Piesele desenate sînt schemele funcţionale ale soluţiei sau variantei optime.

Principalele elemente ale NC (vezi şi Anexa nr. 1 a din Legea investiţiilor) sînt următoarele:

1. *Indicatori tehnici limită:*
— capacitatea, caracteristicile consumatorului şi ale instalaţiilor electrice necesare satisfacerii cererii de consum;
— surse de alimentare cu energie electrică şi amplasarea lor faţă de centrele de greutate ale consumatorilor;
— gradul de încărcare al instalaţiilor;
— soluţia propusă;
— limita maximă a pricipalelor consumuri specifice (energie electrică, consum propriu tehnologic, materiale principale etc.);
— principalele caracteristici tehnice şi constructive (capacitatea staţiilor şi posturilor de transformare, a liniilor, secţiunea conductelor, numărul de circuite, tipul stîlpilor etc.);
— posibilitatea de folosire în comun a utilităţilor şi obiectivelor de folosinţă generală pentru asigurarea unui grad maxim de cooperare cu consumatorii din zonă;
— exploatarea instalaţiilor şi delimitarea exploatării.

2. *Amplasamentul soluţiei aprobate:*
— amplasamente şi trasee ale instalaţiilor electrice;
— gradul de ocupare a terenului;
— exproprieri, transferuri de teren, demolări;
— drumuri de acces.

3. *Precizări asupra părţii de construcţii:*
— tipul fundaţiilor;
— folosirea la maximum a suprafeţelor construite existente;

— folosirea materialelor ușoare de construcție;
— stabilirea înălțimii construcțiilor;
— indicarea principalelor caracteristici ale lucrărilor de instalații (iluminat, prize, încălzire, apă, canal etc.);
— consumurile limită ale principalelor materiale.

4. *Mijloace fixe ce se dezafectează ca urmare a apariției obiectivului.*

5. *Lucrări de organizare de șantier* [25]*:*
— prezentarea soluției adoptate;
— cooperarea cu alte unități din zonă.

6. *Indicatori economici limită:*
— valoarea totală a investiției, din care construcții-montaj;
— investiția specifică;
— valoarea anuală a producției nete, marfă și globale;
— productivitatea muncii, fizică și valorică;
— numărul de personal total, din care muncitori, în conformitate cu normele de muncă stabilite conform legii;
— cheltuieli totale și materiale la 1000 lei producție-marfă;
— valoarea acumulărilor anuale, din care beneficiu, rentabilitate;
— producția marfă și netă, acumulările totale și beneficiile la 1000 lei fonduri fixe;
— durata de realizare a investiției pînă la punerea în funcțiune; principalele etape de realizare a investiției;
— durata de realizare a indicatorilor tehnico-economici aprobați;
— durata de recuperare a investiției din acumulări totale și din beneficiu;
— curs de revenire brut și net;
— aportul net valutar, din care în devize libere; termenul de recuperare a efortului valutar prin exporturi de mărfuri.

7. *Nota de comandă contract pentru mașini-unelte, utilaje și instalații tehnologice din import* (în conformitate cu Anexa nr. 8 din Legea investițiilor).

8. *Acorduri obținute:*
— lista acordurilor;
— condiții desprinse din acorduri și posibilități de rezolvare.

9. *Data predării proiectului de execuție.*

Piesele desenate ale NC sînt cele din NFTE, referitoare la soluția sau varianta optimă.

Elementele NC se analizează și se aprobă pe măsura elaborării lor în Consiliul tehnico-economic al proiectantului. Ele se dezbat și se însușesc apoi de consiliul de conducere al beneficiarului și al ministerului tutelar.

NC se avizează de către Banca de Investiții.

În funcție de ramura, subramura din care face parte lucrarea și de valoarea ei totală, NC se aprobă de către forurile de sinteză (CNST, IGSIC, MAGF), de către ministere, centrale industriale, întreprinderi etc (Anexa nr. 3 din Legea investițiilor).

2.2. PROIECTUL DE EXECUȚIE PE

PE este documentația care detaliază tehnic, aprofundează și concretizează prin soluții, elementele din NC. La adoptarea soluțiilor din PE trebuie să se asigure încadrarea strictă în indicatorii tehnico-economici aprobați prin NC.

PE este elaborat de proiectant pe baza NC aprobate, în termenul și limitele tehnico-economice stabilite de aceasta. Pentru elaborare, colectivele de ingineri vor încheia un angajament-contract (Anexele 6 și 7 din Legea investițiilor) care conține principalele atribuții ale colectivelor și ale institutului de proiectare, în scopul îmbunătățirii indicatorilor tehnico-economici din NC, dintre care se menționează :

— soluții la nivelul celor mai bune realizări obținute în țară sau străinătate ;

— folosirea materialelor, aparatelor, utilajelor etc. tipizate în producția internă ;

— reducerea consumurilor de materii prime, materiale, combustibili și energie ;

— eficiență economică, productivitate și calitate superioară a produselor.

Pe tot parcursul elaborării și realizării practice a PE, proiectantul va colabora cu beneficiarul și executantul lucrării, cu furnizorul de echipamente etc., asigurînd asistență tehnică pînă la punerea în funcțiune a lucrării și atingerea parametrilor tehnici proiectați.

Fazele PE sînt :

— PE al obiectivului ;

— detalii și devize de execuție DDE ale obiectelor.

PE permite :

— stabilirea valorii obiectivului, care trebuie să fie mai redusă decît cea aprobată prin NC ;

— realizarea obiectivului în conformitate cu acordurile necesare ;

— aprobarea deschiderii finanțării lucrării (Anexa nr. 9 din Legea investițiilor) ;

— comanda și contractarea utilajelor din țară și din import pe baza listei utilajelor tehnologice care necesită montaj LUTM și Anexei nr. 8 din Legea investițiilor.

DDE permite :

— începerea execuției lucrărilor la obiectivul PE-ului, corelată cu termenele de livrare a utilajelor din LUTM ;

— decontarea lucrărilor realizate de către executant, pe baza devizelor de execuție.

În principiu elaborarea PE o precede pe cea a DDE. În realitate, unele părți ale PE nu pot fi elaborate fără ca în prealabil sau în paralel să se determine unele elemente ce sînt componente ale detaliilor de execuție, cum ar fi principalele elemente ale breviarului de calcul, scheme de montare etc.

PE și DDE vor fi analizate, avizate și aprobate separat sau împreună de către organele care au analizat și aprobat NC (par. 2.1.3).

2.2.1. PROIECTUL DE EXECUȚIE AL OBIECTIVULUI

Piesele scrise ale PE sînt: FT, BD, memoriul general MG, devizul general DG, indicatorii tehnico-economici ai obiectivului ITE, LUTM, grafice și acorduri GA, proiectul de organizare a șantierului POS.

Piesele desenate ale PE sînt schemele funcționale și unele dintre schemele de montare ale obiectelor.

Memoriul general MG al obiectivului reprezintă piesa scrisă care definește obiectul și modul de realizare al lucrării, prezentînd indicatorii tehnici ai obiectivului (Anexa nr. 5 din Legea investițiilor).

Principalele elemente ale MG sînt:

1. *Date generale* — denumirea lucrării, beneficiar, titular, localitatea de amplasare, proiectantul general, subproiectanții de specialitate, executanții, stația CFR cea mai apropiată, cu condiții de descărcare a utilajelor și materialelor.

2. *Indicatori tehnici* — capacitatea, profilul, caracteristicile instalațiilor proiectate, termene și etape de punere în funcțiune.

a) capacitatea instalațiilor:

— capacitatea maximă a stațiilor și posturilor;

— capacitatea liniilor;

— dinamica de dezvoltare a consumului în zonă;

— gradul de acoperire a consumului din instalațiile existente;

— circulația de puteri;

b) profilul și caracteristicile instalațiilor:

— puteri instalate, tensiuni, pierderi de tensiuni și energie, consum propriu tehnologic, compensarea puterii reactive, reducerea regimului deformant, a regimului dezechilibrat etc;

— instalațiile de forță și iluminat, tipul rețelelor, conducte și echipamente utilizate, numărul și tipul tablourilor de distribuție, instalațiile de protecție împotriva electrocutării, împotriva trăznetelor etc;

— tipul posturilor de transformare, numărul transformatoarelor, numărul și destinația celulelor de medie tensiune, numărul și tipul tablourilor de distribuție, numărul de plecări, automatizări și protecții;

— numărul și destinația liniilor electrice, secțiunea și tipul conductelor, număr de stîlpi, măsuri împotriva electrocutării, măsuri de siguranță la traversări, paralelisme și distanțe minime pe verticală, măsuri de protecție împotriva supratensiunilor atmosferice etc;

— tipul stațiilor de transformare, numărul și caracteristicile de bază ale transformatoarelor (tensiuni, puteri nominale, reactanțe de scurtcircuit, reglaj de tensiune ș.a.), circulația de puteri, valorile puterilor și a curenților de scurtcircuit pe nivelele de tensiuni, tratarea neutrului, structura conexiunilor circuitelor primare, numărul sistemelor de bare și secționări, numărul celulelor de înaltă și medie tensiune, măsuri de protecție etc;

c) durata de realizare a lucrării (în luni);

d) termen de punere în funcțiune (anul și luna).

3. *Încadrarea în sistemul energetic și zonă* (platformă sau incintă industrială) a instalațiilor proiectate:

— racordarea la instalațiile existente;

— descrierea amplasamentului stațiilor și posturilor, a traseelor liniilor electrice;

— accesul liniilor de înaltă tensiune în stație;

— suprafețe de teren ocupate, documentații de scoatere din circuitul agricol ;
— relief, inundabilitate, nocivități ;
— drumuri de acces ;
— posibilități de extindere a instalațiilor.
4. *Descrierea schemelor funcționale și de montare :*
— a schemei de încadrare în sistem, a schemei de alimentare a stației, posturilor și rețelelor electrice, a schemelor de protecție prin relee și automatizare ș.a.
5. *Exploatarea instalațiilor :*
— stabilirea personalului necesar, descrierea soluțiilor pentru instalațiile telefonice și telemecanice ;
— delimitarea exploatării instalațiilor între întreprinderea furnizoare și cea consumatoare.
6. *Utilități necesare :*
— evidența lucrărilor de alimentare cu apă, termice, canalizări, drumuri, căi ferate etc ;
— soluții pentru lucrări de organizare și cooperare cu unitățile din zonă.
7. *Construcții :*
— caracteristici și condiții impuse de teren conform referatului geotehnic anexat ;
— indicații privind fundațiile, structurile de rezistență, acoperișurile, împrejmuirile, drumurile etc.
8. *Siguranța funcționării și deservirii instalațiilor :*
— condiții de siguranță în alimentarea cu energie electrică, impuse de consumatori ;
— condiții de siguranță impuse de sistemul energetic ;
— modul de satisfacere a condițiilor de siguranță ;
— indicatorii de siguranță în funcționare.
9. *Soluții pentru valorificarea resurselor energetice secundare.*
10. *Bilanțuri energetice.*
11. *Măsuri speciale de protecția muncii și PSI* [49, 52] :
— descrierea măsurilor speciale de protecția muncii adoptate în proiect, legate de tehnologia lucrărilor de C + M, inclusiv lucrările care pot fi executate sub tensiune la instalațiile proiectate ; se vor indica lucrările care trebuie executate cu întreruperea tensiunii, punctele de întrerupere a tensiunii ;
— descrierea măsurilor PSI deosebite, legate de amplasarea în apropierea unor obiective cu caracter special.

Devizul general DG al obiectivului conține indicatorii economici ai acestuia și se întocmește pe baza indicatorilor tehnico-economici orientativi în vigoare sau pe baza unor proiecte similare realizate, proiecte tip etc. După întocmirea fazei DDE, devizul general se reașază pe baza devizelor obiectelor componente (par. 2.3), fără a se depăși însă indicatorii economici aprobați prin NC și PE.

DG (Anexa nr. 2, macheta nr. 1 din Legea investițiilor) conține cheltuielile de investiții destinate construcțiilor, alimentării cu energie electrică, cheltuielile de proiectare, de execuție etc, reprezentînd în final costul total al obiectivului.

Indicatorii tehnico-economici ai obiectivului ITE (Anexa nr. 2, macheta nr. 2 din Legea investițiilor), conțin în principal următoarele elemente :

valoarea totală a investiției (din care construcții-montaj), investiția specifică (lei/km, lei/t etc), capacitatea și termenele de punere în funcțiune, durata de recuperare a investiției, total personal muncitor, aport valutar cu termenul de recuperare din exporturi de mărfuri, comparația cu indicatorii economici realizați la obiective similare realizate în țară și străinătate.

Lista utilajelor tehnologice care necesită montaj LUTM este prezentată în par. 2.3.2.

Graficele prezentate în PE sînt: de eșalonare a investiției (stabilește etapizarea execuției lucrărilor de construcții-montaj), de livrare a utilajelor (în concordanță cu graficul anterior), de asigurare a forței de muncă necesare exploatării obiectivului, de realizare a principalilor indicatori tehnico-economici etc.

Acordurile necesare provin din partea Consiliului popular județean, ministerului agriculturii, ministerelor energiei electrice, minelor, petrolului și geologiei, ministerului transporturilor și telecomunicațiilor, Consiliului național al apelor, Comitetului de stat pentru prețuri, Consiliului național pentru protecția mediului înconjurător etc.

Proiectul de organizare a șantierului POS se întocmește conform lucrării [25].

Piesele desenate principale ale PE sînt următoarele:

1. Planuri de situație cu zona de amplasare, indicarea amplasamentului și a traseelor.

2. Scheme cu încadrarea în sistem a stațiilor și posturilor de transformare.

3. Scheme electrice de alimentare, cu indicarea caracteristicilor elementelor primare, a protecțiilor și automatizărilor.

4. Vederi în plan a stațiilor și posturilor.

5. Profile longitudinale și transversale la linii aeriene și în cablu.

6. Planurile instalațiilor de forță și iluminat.

7. Planurile de construcții.

2.2.2. DETALII ȘI DEVIZE DE EXECUȚIE DDE ALE OBIECTELOR

DDE ale obiectelor se elaborează pentru adaptarea la teren a proiectelor tip și pentru obiectele unicate prevăzute în NC, în strictă concordanță cu soluțiile și prevederile din PE aprobat.

Piesele scrise ale DDE sînt: FT, BD, memoriul tehnic MT, breviarul de calcul BC și documentația economică DEc. Piesele desenate ale DDE sînt schemele de montare, planurile de montare și documentele generale.

Memoriul tehnic MT, întocmit pentru fiecare obiect în parte, conține următoarele elemente principale:

1. *Prezentarea soluției tehnologice*:

— descrierea schemelor electrice;

— descrierea soluțiilor constructive ale instalațiilor proiectate;

— prezentarea soluțiilor diferite de cele din proiectele tip sau directive, inclusiv justificarea temeinică a introducerii lor în proiect.

2. *Prezentarea soluției părții de construcții.*

3. *Măsuri de protecția muncii și PSI* [49, 52]:

— descrierea măsurilor respective adoptate în proiect, menționîndu-se modul de execuție al lucrărilor (cu sau fără întreruperea tensiunii).

4. *Măsuri de protecție a mediului înconjurător*

Breviarul de calcul BC reprezintă un extras din notele de calcul ale proiectantului, conținînd principalele rezultate ale dimensionărilor, verificărilor și ipotezelor de calcul, prezentate într-o succesiune logică. Notele de calcul se păstrează în arhiva unității de proiectare.

Documentația economică DEc (detaliată în par. 2.3) conține următoarele piese :

— devizul general ;
— devizele pe obiecte ;
— devizele pe categorii de lucrări ;
— antemăsurători pe categorii de lucrări ;
— extrase de materiale din țară și import ;
— listele utilajelor tehnologice și funcționale care necesită montaj.

Piesele desenate ale DDE (indicate detaliat în par. 2.4) sînt următoarele : scheme desfășurate, secțiuni prin toate tipurile de celule, scheme (tabele) de conexiuni interioare și exterioare, planuri de montarea aparaturii pe echipamente, scheme sinoptice, scheme cu amplasamente și trasee, foi de pichetaj și tabele de săgeți la linii electrice aeriene, planuri de montare a echipamentelor și aparaturii locale, documente generale, planuri de construcții etc.

2.3. DOCUMENTAȚIA ECONOMICĂ DEc

2.3.1. PIESELE COMPONENTE ALE DEc

DEc stabilește valoarea exactă a obiectivului și obiectelor proiectate, permițînd decontarea lucrărilor realizate de către executant. Piesele componente ale DEc sînt indicate în tabelul 2.1. și vor fi explicitate în cele ce urmează.

1. *Devizul general* DG al unui obiectiv conține recapitulația valorilor devizelor de obiectele aparținătoare obiectivului.

Delimitarea concretă a obiectului și precizarea codului acestuia se face de către proiectant (par. 2.3.2).

2. *Devizul pe obiect* conține recapitulația valorilor devizelor pe categorii de lucrări și a valorilor utilajelor tehnologice care necesită montaj cuprinse în LUTM, aferente obiectului respectiv.

Conform normativului [31] categoriile de lucrări care prezintă interes pentru proiectele de instalații electrice sînt următoarele :

gr. IV, sgr. 3	—	instalații electrice interioare, de lumină și forță, la construcții ;
gr. XVII, sgr. 1	—	linii aeriene și subterane peste 1 kV, posturi și stații de transformare ;
gr. XVII, sgr. 2	—	rețele electrice sub 1 kV și iluminat public ;
gr. XVIII, sgr. 3	—	montaje de utilaje tehnologice la linii, stații și posturi de transformare ;
gr. XVIII, sgr. 4	—	instalații de automatizare.

3. *Devizul pe categorii de lucrări* încadrează lucrările de executat la părțile de obiect, în articole de lucrări cuprinse în :

— indicatoare de norme de deviz, care detaliază materialele și manopera necesară realizării unității de măsură a fiecărui articol de lucrări :

— cataloage de prețuri unitare pe articole de deviz, care detaliază valoarea materialului, a manoperei, a utilajului de montare și a transportului pe calea ferată CF, necesare realizării unității de măsură a fiecărui articol de lucrări. Dintre acestea se menționează :

C — construcții industriale, locuințe, social-culturale și agrozootehnice :

E — instalații electrice la construcții ;

W_1 — stații, posturi de transformare și linii de înaltă tensiune ;

W_2 — rețele de distribuție a energiei electrice, iluminat public și branșamente.

Ai — automatizări.

Din punct de vedere al modului de încadrare în devize, părțile de obiect se împart în :

— materiale, cuprinse ca elemente de cheltuieli materiale, manoperă, utilaje de montare și transport CF în devizul pe categorii de lucrări ; materialele sînt aparate, conducte, construcții metalice, construcții complexe, livrate detașat și care se montează în subansambluri, ansambluri, linii tehnologice ;

— utilaje tehnologice care necesită montaj ; sînt livrate complet formate în vederea montării lor ; ca elemente de cheltuieli de manoperă de montare, utilaj de montare și transport CF sînt cuprinse în devizul pe categorii de lucrări ; cheltuielile materiale sînt cuprinse în LUTM (par. 2.3.2), a cărei valoare face parte din devizul pe obiect ;

— utilaje funcționale sînt cele care intră în compunerea instalațiilor de utilizare generală (încălzire, iluminat, alimentare cu apă etc) ; încadrarea lor în devize este identică cu cea a utilajelor tehnologice care necesită montaj.

Conform normativului [30] se consideră :

a) Materiale :

— aparatele de conectare, pornire, protecție, măsură, control, semnalizare, cu tensiuni nominale pînă la 1 kV, folosite în instalațiile de forță și iluminat ;

— dulapurile, tablourile, pupitrele, panourile de comandă, distribuție sau protecție, pentru instalațiile de forță sub 1 kV sau iluminat ;

— conductele electrice de orice tip, independent de tensiunea nominală ;

— aparatajul și instalațiile montate pe partea de joasă tensiune a posturilor și stațiilor de transformare, servicii proprii de c.a. și c.c., acumulatoare electrice ;

— stîlpii, izolatoarele, consolele, accesoriile liniilor electrice, independent de tensiune ;

— construcțiile metalice sau electroizolante de fixare, susținere sau separare a conductelor electrice, a aparatelor sau echipamentelor livrate gata asamblate.

b) Utilaj tehnologic care necesită montaj :

— aparatele avînd tensiunea nominală peste 1 kV ;

— mașinile electrice rotative ;

— condensatoarele de forță ;

— aparatele de comandă, măsură, control și semnalizare, inclusiv panourile și pupitrele pe care sînt montate, utilizate în instalațiile de automatizare ;
— aparatajul electric montat pe un utilaj ;
— aparatele de curenți slabi.

4. Din piesele componente ale DEc mai fac parte antemăsurătoarea și extrasul de materiale, care împreună cu LUTM și lista utilajelor funcționale, formează documentația necesară întocmirii devizelor pe categorii de lucrări.

2.3.2. DOCUMENTAȚIA TEHNICO-ECONOMICĂ NECESARĂ ÎNTOCMIRII DEVIZELOR PE CATEGORII DE LUCRĂRI

1. *Antemăsurătoarea AM*

Antemăsurătoarea este piesa scrisă prin care se determină cantitățile de lucrări din fiecare articol de lucrări, necesare a se executa la o categorie de lucrări (parte de obiect) din cadrul unui obiect.

La lucrările de montare a utilajelor tehnologice, antemăsurătoarea se înlocuiește cu lista utilajelor tehnologice care necesită montaj.

Antemăsurătoarea se redactează pe părți de obiecte — ansambluri, subansambluri, elemente. Fiecare parte de obiect este executabilă cu continuitate în aceeași etapă a procesului de execuție. Fiecărei părți de obiect i se atribuie un număr curent și un cod, stabilite prin nomenclatoare specifice pe părți de obiect ale grupelor principale de obiecte, elaborate de ministere sau organe centrale. Listele claselor de obiecte de construcții din clasificarea unitară a produselor și serviciilor (CUPS) și a nomenclatoarelor părților de obiect corespunzătoare sînt cuprinse în Buletinul construcțiilor, vol. 5, 1977. *Exemplu :*

obiect-cod 757 80 00 instalații electrice tehnologice interioare de forță cu $U_n > 1$ kV ;

ansamblu-cod A 0000 circuite electrice în cabluri ;

ansamblu-cod AE 000 montate aparent pe diverse elemente ;

element-cod AEA 10 cu conductoare din aluminiu, accesorii și confecții metalice instalate pe ziduri.

Partea de obiect este constituită din articole de lucrări cuprinse în indicatoarele și cataloagele menționate în paragraful anterior.

Antemăsurătoarea se redactează deci pe părți de obiect, care cuprind la rîndul lor articole de lucrări — tabelul 2.3.

Pentru fiecare articol de lucrări se înscriu :

— numărul curent format din numărul curent al părții de obiect urmat de numărul curent al articolului de lucrări din cadrul părții de obiect ;

— simbolul articolului de lucrări, din indicatoare sau cataloage ;

— calculul cantității de lucrare pe baza datelor din documentația desenată (pentru fiecare parte de obiect). Cantitățile de lucrări se rotunjesc în plus la a treia cifră semnificativă (ex. pentru 1214 se trece 1220 ; pentru 0,321 se trece 0,330 ; pentru 123 307 se trece 124 000).

Transportul și manipularea pămîntului rezultat din săpături se înscriu ca articole de lucrări, luîndu-se în considerare greutatea volumetrică de 1800 kg/mc (indicator Ts-terasamente).

Tabelul 2.3

Antemăsurătoare
(partea de obiect) instalații electrice de forță
pentru . . . .
(formular)

Proiectant . . . . Obiectul . . . .
Număr de cod proiect . . . . . . Codul obiectului 757—71—00 . .
. . . .
Beneficiar . . . . Grupa (sgr) de categorii de lucrări gr. IV, sgr. 3
. . . .
Nr. deviz pe categorii de lucrări

Nr. crt.	Cod Simbol	Denumirea părților de obiect Calcule cantități pe articole	Unit. de măsură	Cantitate totală
01	AE 000	Circuite electrice în cabluri montate aparent		
0101	*EC03A01* / 467	50 + 100 + 100 = 250	ml.	250
0102	EC12C01	1 + 3 + 2 + 2 = 8	buc.	8
02	TA 000	Aparate electrice de comutație	buc.	1
0201	ED08G01	1		
03	TC 000	Tablou de distribuție capsulat		
0301	*EF04C01* / 15505	1	buc.	1

În cazul în care lucrarea de executat nu are corespondent (sau nu se poate asimila) cu unul din articolele din indicatoare sau cataloage, se va încadra într-o normă de deviz locală NL, compusă din mai multe articole din indicator și (sau) elementele fără corespondent, întocmită conform paragrafului 2.3.3.

2. *Lista utilajelor tehnologice care necesită montaj*

Cuprinde caracteristicile tehnice, cantitățile, valoarea de procurare a utilajelor tehnologice prevăzute în nota de comandă, pentru fiecare obiect în parte. Se întocmește pentru utilaje din țară și import (Est sau Vest) — tabelul 2.4.

3. *Lista utilajelor funcționale care necesită montaj*

Se întocmește separat pe fiecare obiect, pe modelul de formular din tabelul 2.4.

4. *Extrasul de materiale*

Cuprinde denumirea, caracteristicile tehnice principale, unitatea de măsură și cantitatea sortimentelor materialelor, determinată pe baza cantităților din articolele de lucrări prevăzute în antemăsurătoare și a consumurilor din indicatoarele de norme de deviz respective. Cantitățile rezultate pentru sortimentele identice se însumează, iar totalurile se înscriu în extrasul de materiale.

Extrasul de material va cuprinde și produsele de balastieră și carieră, pe sortimente.

Tabelul 2.4

Lista utilajelor tehnologice care necesită montaj (formular)

Nr. crt.	Subansamblu	Cod ca produse HCM 352/1971 / ca mijloace fixe, legea 62/1969	Denumirea pe tipuri de utilaje identice (caracteristici tehnice, capacități, dimensiuni etc.).	Nr. buc. / Greutate pe bucată	Valoare (lei) Pe bucată / din care materiale cf. ord. 29/1973	Valoare (lei) Totală / din care materiale cf. ord. 29/1973	Temei legal preț utilaj	Furnizorul	Date pentru antemăsurătoare: Simbol normă deviz	U/M	Cantitatea
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A			*A.* Utilaje din țară								
B			*B.* Utilaje din import Est								
C			*C.* Utilaje din import Vest								

2.3.3. DEVIZUL DE CATEGORII DE LUCRĂRI [31]

Constituie piesa scrisă principală a documentației economice a DDE și conține descrierea lucrărilor de executat la părțile de obiect din cadrul unui obiect, cheltuielile necesare execuției și valorile parțiale și totale ale acestor lucrări — tabelul 2.5. Pentru utilajele tehnologice și funcționale se vor înscrie numai lucrările de montare, valoarea lor fiind cuprinsă în listele respective.

Devizul se redactează ca și antemăsurătoarea, pe părți de obiect, (ansambluri, subansambluri), care la rîndul lor cuprind articole de lucrări.

Valoarea de deviz a lucrărilor este alcătuită din următoarele capitole de cheltuieli :

— cap. A, care cuprinde cheltuielile directe aferente articolelor de lucrări ;

— cap. B, care cuprinde alte cheltuieli directe (transporturi de materiale, sporuri de manoperă etc) ;

— cap. C, D și E, care cuprind cheltuielile indirecte, respectiv pentru introducerea tehnicii noi și cota de beneficiu.

În capitolul A, se înscriu pe coloane, următoarele :

1 — numărul curent (conform AM) ;

Tabelul 2.5

Devizul pe categorii de lucrări (formular)

Proiectant . . . .
Număr de cod proiect . . . .
Beneficiar . . . .

Obiectul . . . .
Codul obiectului 757 – 71 – 00 . . .
Grupa (sgr) de categ. de lucrări gr. IV sgr. 3
Valoarea devizului: 4 900 lei.

Deviz nr. . . . .

pentru . . . (partea de obiect) — instalaţii electrice de forţă, întocmit la (data) . . . .
(Formular)

Nr. crt.	Cod. Simbol	Articole de lucrări: a. Unitatea de măsură şi cantitatea pe articol. b. Denumirea articolelor c. Greutăţile materialelor pe unitatea de articol (tone).	Preţuri unitare a. Materiale b. Manoperă c. Utilaje de constr. d. Transp. CF	Valori pe articole şi alte elemente ale devizului: Materiale	Manoperă	Utilaj de constr.	Total	Transp. CF	Greutatea totală (tone) a materialelor pe articole
1	2	3	4	5(3a × 4a)	6(3a × 4b)	7(3a × 4c)	8(5 + 6 + 7)	9(3a × 4d)	10(3a × 3c)
		A. Cheltuieli directe — articole de lucrări							
01 0101	AE000 EC03A01 467	Circuite electrice în cablu ml. 100 Cablu tip ACYAbY-1 kV, 4 × 4 mmp 0,00038	31,50 3,87 0,00 0,01	3 150	387	—	3 537	1	0,038
0102	EC13C01	buc. 8 Cap terminal uscat . . . 0,00	3,96 7,32 0,00 0,00	32	59	—	91	—	0,00
		Total subansamblu AE 000	—	1 182	446	—	3 628	1	0,038
02 0201	TA000 ED08G01 14323	Aparate electrice de comutaţie buc. 2 Contactor automat TCA – 10A 0,00	122,30 8,11 0,00 0,00	245	16	—	261	—	—
		Total TA000	—	245	16	—	261	—	—

Tabelul 2.5 (continuare)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
03 0301	TC000 EF04C01 15505	Tablou de distribuţie capsulat buc. 1 Tablou electric capsulat din cutii 0,00	225 35,60 0,00 0,00	225	36	—	261	—	—
		Total TC 000	—	225	36	—	261	—	—
	TOTAL		—	3 652	498	—	4 150	1	0,038
	Reduceri pentru actualizarea consumurilor de resurse: — mat. 3 652 × 0% — manop. 498 × (−15%)			—	−75		— −75		
	TOTAL *I* — ARTICOLE DE LUCRĂRI		—	3 652	423	—	4 075	1	0,038
	B. Alte cheltuieli directe Transportul materialelor Transportul auto al materialelor 0,038 × 15 lei/tonă			1 1			1 1		
	TOTAL *II* — CHELTUIELI DIRECTE			3 654	423	—	4 077		
	C. Cheltuieli indirecte 4 077 × 0,1315						536		
	D. Cheltuieli pt. tehnică nouă (4 077 + 536) × 0,0005						2		
	E. Beneficiu (4 077 + 536 + 2) × 0,05						231		

TOTAL	4 846
Pentru rotunjire	54
TOTAL DEVIZ	4 900

Producţia netă este: 4 846 — [3 654 + 0 + 0,25 · 536] = 1 058 lei.

2,3 — articole de lucrări cu cod și simbol, unitatea de măsură și cantitatea, greutățile materialelor (în tone) pe unitatea de articol, conform AM;

4 — prețuri unitare de deviz pe elemente de cheltuieli: materiale, manoperă (conținînd și manipularea manuală), utilaj de montare și frahte medii pentru transporturi CF; aceste valori se iau din catalogul de prețuri unitare utilizat.

Observație. Articolelor de lucrări indicate cu asterisc în cataloagele de prețuri (ca avînd prețuri unitare incomplete), denumite materiale neexplicitate, li se adaugă la prețurile unitare, valorile indicate în „Catalogul de prețuri de producție și livrare" al MICM. În acest caz simbolul articolului se completează cu o linie de fracție sub care se înscrie numărul curent al poziției din catalogul respectiv.

În cazul în care articolul precizat de proiectant nu este cuprins în indicatoare și cataloage, prețul de deviz al acestuia se stabilește pe baza unei norme de deviz locale NL (sau analiză de preț), întocmită în conformitate cu prevederile ICCPDC — „Metodologie pentru elaborarea normelor noi de deviz și a prețurilor unitare pe articole de deviz", 1977.

NL conține următoarele elemente pe unitatea de măsură a articolului:

— valoarea totală a materialelor, redactată sub forma unui tabel conținînd sortimentele de materiale utilizate, unitatea de măsură, cantitatea, prețul unitar și total;

— valoarea manoperei, respectiv categoria, treapta și retribuția orară și totală a forțelor de muncă necesare;

— cheltuielile pentru utilaje de montare;

— cheltuielile de transport CF.

5, 6, 7 și 9 — valorile parțiale se înscriu, pe elemente de cheltuieli în coloanele respective;

8 — valoarea totală de deviz a articolului;

10 — greutatea totală a materialelor, pe fiecare articol.

La acest total se aplică reducerile pentru actualizarea consumurilor de resurse: gr. IV, la manoperă — 15%; gr. XVII, la materiale între −10% și −20%, la manoperă între −20% și −40%; gr. XVIII, la materiale între −1% și −10%; la manoperă între — 20% și −30%.

TOTAL I — articole de lucrări, rezultă din diferența cheltuielilor directe și a reducerilor.

În cap. B se înscriu:

— cheltuielile cu transportul CF al materialelor — în coloanele 5 și 8 se înscrie valoarea TOTAL I din coloana 9;

— cheltuielile pentru transport cu autovehicule, în coloanele 5 și 8 (valorile în lei/tonă vizînd transportul de la bazele județene de aprovizionare tehnico-materială sau furnizori locali, pînă la executant, sînt stabilite de comun acord cu beneficiarul);

— sporul de manoperă aferent lucrărilor pentru care s-a aprobat nivelul A de retribuție (în coloanele 6 și 8);

— alte cheltuieli directe cu caracter special, aprobate de Consiliul de Miniștri.

TOTAL II — se obține din totalizarea pe coloane a valorilor înscrise în capitolele A și B (TOTAL I la care se adaugă valorile din cap. B).

Cap. C — în coloana 8 se înscrie valoarea obținută prin aplicarea cotei medii de cheltuieli indirecte aferente grupei (sgr) de categorii de lucrări, la valoarea TOTAL II din coloana 8. Cota medie de cheltuieli indirecte are valorile: gr. IV, sgr. 3 — 13,15%; gr. XVII sgr. 1 — 9,85%; gr. XVII sgr. 2 — 10,35%; gr. XVIII, sgr. 3 — 11,73%; gr. XVIII, sgr. 4 — 9,40%.

Cap. D — în coloana 8 se înscrie valoarea obținută prin aplicarea unei cote fixe de 0,05% la suma valorilor din coloana 8, cheltuieli directe și indirecte (TOTAL II + cap. C).

Cap. E — în coloana 8 se înscrie valoarea obținută prin aplicarea cotei de 5% valorilor din coloana 8 ale cap. A-D (TOTAL II + cap. C + cap.D).

Observație. Toate valorile din coloanele 5...8, pe articole de lucrări, se rotunjesc în plus la lei întregi.

Prin însumarea, pe coloana 8, a valorilor tuturor capitolelor devizului (TOTAL II + cap. C + cap. D + cap. E) se obține valoarea TOTAL DEVIZ pe categorii de lucrări. Acest total se rotunjește în plus după cum urmează:

— pentru valori sub 100 000 lei, la sute de lei întregi;
— pentru valori peste 100 000 lei (la mii lei întregi.)

În conformitate cu decizia ICCPDC nr. 1/15. 01. 1979 privind completarea normativului P 91 — 77, în deviz se evidențiază și producția netă, rezultată pe baza relației:

Producția netă de deviz = TOTAL DEVIZ (nerotunjit) — [TOTAL II (col. 5 materiale) + TOTAL II (col. 7 utilaj) + kxcap. C (chelt. indirecte)].

Coeficientul k este indicat în tabelul 2.6.

Tabelul 2.6

Valorile coeficientului k, reprezentînd ponderea cheltuielilor materiale de producție din valoarea cheltuielilor indirecte

Gr.	Sgr.	Coeficientul k	
		Lucrări in antrepriză	Lucrări in regie
IV	3	0,25	0,25
XVII	1	0,22	0,30
XVII	2	0,22	0,30
XVIII	3	0,41	0,41
XVIII	4	0,41	0,41

Devizele pe categorii de lucrări și extrasele de materiale se pot obține și cu ajutorul calculatoarelor numerice, pe baza bibliotecii de programe DØCEC elaborată de COCC București.

2.3.4. DEVIZUL PE OBIECT

Devizul pe obiect se întocmeşte pe formularul indicat în tabelul 2.7 şi cuprinde totalurile rotunjite ale devizelor pe categoriile de lucrări care fac parte din obiectul respectiv.

Tabelul 2.7

Deviz pe obiect (formular) Hala de fabricaţie. Cod . . . .

Nr. crt.	Devize pe categorii de lucrări componente ale obiectului			Valorile de deviz ale:			Total
	Nr. deviz	Grupa (subgrupa) de categorii de lucrări		Lucrărilor de construcţii	Lucrărilor de instalaţii electrice	Utilajelor funcţionale care necesită montaj	
		Simbol	Denumire				
0	1	2	3	4	5	6	7

Total deviz pe obiect:

Din devizul pe obiect mai fac parte:

— tabelul de calcul cuprinzînd valoarea corectării preţului de deviz al produselor de balastieră şi carieră;

— valoarea utilajelor tehnologice şi funcţionale care necesită montaj.

2.4. DOCUMENTAŢIA DESENATĂ DD

Cunoaşterea şi interpretarea corespunzătoare a tuturor pieselor, care compun documentaţia desenată a proiectelor de instalaţii electrice, este deosebit de importantă atît în fazele de elaborare a acestora, cît şi în execuţie şi exploatare. Forma şi conţinutul documentaţiei desenate, absolut necesare la execuţia instalaţiilor electrice, sînt stabilite prin standarde de stat.

Noţiunea de instalaţii de automatizare avînd un caracter cuprinzător, regulile pentru întocmirea documentaţiei tehnice desenate expuse în STAS 7070—74, sînt aplicabile şi se utilizează şi în cazul instalaţiilor electrice industriale. În cele ce urmează, din motive de claritate şi simplitate a expunerii se fac referiri în special la instalaţii de automatizare, dar trebuie avut în vedere gradul lor de generalitate, în conformitate cu extinderea menţionată mai sus.

Reprezentarea pe scheme a echipamentelor se face prin semnele convenţionale, stabilite prin standardele în vigoare [27]. Pentru cele care nu sînt prevăzute semne convenţionale, reprezentarea se poate face prin semne adoptate, care se definesc pe desenul respectiv.

Identificarea fiecărui echipament sau aparat, precum și a conductelor electrice, face necesară notarea acestora prin simboluri literal-numerice denumite mărci. Modalitățile de marcare sînt de asemenea reglementate prin standarde de stat [62, 63, 68].

2.4.1. MARCAREA APARATELOR ȘI ECHIPAMENTELOR

În vederea unei marcări expresive și sistematice, toate aparatele și echipamentele au fost împărțite în grupe, iar fiecărei grupe i s-a afectat un simbol literal dintre literele latine minuscule. Corespondența grupă-simbol literal, precum și aparatele, mașinile și celelalte echipamente concrete care aparțin fiecărei grupe sînt prezentate în tabelul 2.8.

Tabelul 2.8

Simboluri literale pentru marcarea grupelor de aparate și echipamente

Grupa de aparate sau echipamente	Simbolul	Exemple
Întreruptoare	*a*	Separatoare, întreruptoare de putere, întreruptoare automate, echipamente pentru pornire automată
Întreruptoare auxiliare	*b*	Întreruptoare de comandă, butoane de comandă, chei de comandă și separare, fișe de prize, contacte acționate de parametri neelectrici (microîntreruptoare, limitatoare de cursă, presostate, relee de curgere, termostate)
Contactoare	*c*	Contactoare de putere
Contactoare auxiliare	*d*	Contactoare (relee) de comandă, relee de timp etc.
Dispozitive de protecție	*e*	Siguranțe, declanșatoare primare, relee de protecție, relee de gaze (Bucholz) etc.
Transformatoare de măsură și traductoare	*f*	Transformatoare de curent, de tensiune etc.
Aparate de măsurat	*g*	Ampermetre, voltmetre etc.
Avertizoare luminoase și acustice	*h*	Avertizoare optice, relee de semnalizare, contoare numerice, sonerii, lupe, lămpi de semnalizare etc.
Condensatoare și bobine	*k*	Condensatoare de tot felul, reactanțe inductive, bobine de filtrare etc.
Mașini și transformatoare	*m*	Generatoare, motoare, convertizoare, transformatoare etc.
Redresoare	*n*	Instalații și aparate redresoare
Tuburi electronice, semiconductoare etc.	*p*	Tuburi cu vid sau cu gaze, semiconductoare, diode etc.
Rezistențe	*r*	Rezistențe de pornire, de cîmp, de frînare, potențiometre, șunturi etc.

Grupa de aparate sau echipamente	Simbolul	Exemple
Alte dispozitive de acționare	*s*	Cuplaje de frînare magnetice, electromagneți de ridicare, servomotoare electrice
Dispozitive complexe	*u*	Dispozitive complexe formate din aparatele specifice din acest tabel. De exemplu: instalații de încercare, aparate de încărcat acumulatoare, instalații de comandă sau de apel, precum și toate părțile instalațiilor care nu sînt cuprinse în aparatele specificate în acest tabel.
Elemente logice	*y*	Elemente fundamentale ale sistemelor de comutație statică („TIMP", „NICI")
Armături mecanice diverse	*v*	Diverse robinete, vase de condensație sau separație, filtre de aer etc.

Simbolul literal se completează la nevoie astfel:

— după simbol se trec una sau mai multe cifre reprezentînd numărul de ordine al echipamentului în cadrul grupei din care acesta face parte;

— înaintea simbolului se trece o cifră reprezentînd marca subansamblului;

— înaintea mărcii subansamblului se poate scrie (dacă este cazul) o literă mare, reprezentînd marca ansamblului, caz în care mărcile ansamblului și subansamblului se despart printr-o liniuță orizontală.

În mod obișnuit, pentru cazurile simple se utilizează mărci alcătuite din simbolul literal al grupei și numărul de ordine al echipamentului, ca de exemplu *a*7, *c*5, *m*1, *n*12, *y*9 etc.

Șirurile de cleme se marchează prin litera L precedată de o cifră indicînd numărul șirului. Marcarea clemelor se face indicînd șirul de cleme și apoi, despărțit printr-o liniuță, numărul de ordine al clemei în cadrul șirului. Clemele mai pot fi marcate prin cifre sau combinații de litere mari și cifre, în cazul folosirii principiului nodurilor la marcarea conductoarelor și clemelor (v. par. 2.4.4).

Figura 2.1 reunește toate indicațiile de alcătuire a simbolurilor de marcare, conform celor menționate mai sus. De exemplu, notația T — 2a5 semnifică întrerupătorul 5 din dulapul nr. 2 al tabloului de comandă T, iar 1L—18 reprezintă clema nr. 18 din şirul de cleme nr. 1.

Avînd în vedere că fiecare grupă din tabelul 2.8 conține mai multe tipuri de aparate sau echipamente care prezintă diferențieri principiale, este de remarcat că numai perechea semn convențional-marcă permite identificarea corectă a tipului de aparat sau echipament.

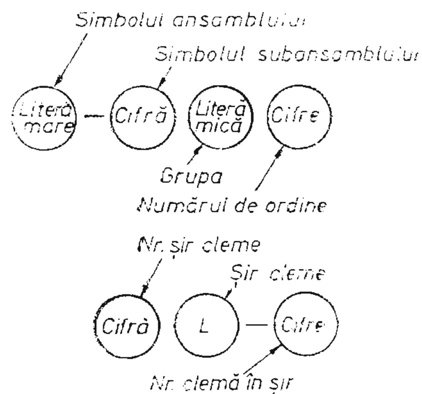


Fig. 2.1. Explicativă pentru alcătuirea simbolurilor de marcare:
a — pentru aparate și echipamente; *b* — pentru cleme.

În final, mai este necesar să se cunoască sau să se stabilească marcarea bornelor aparatelor şi echipamentelor, în care scop se consultă cataloagele producătorilor şi STAS 10636—76, care prevede un sistem uniform de marcare a acestora.

2.4.2. MARCAREA CONDUCTELOR ELECTRICE

Marcarea conductelor electrice de interconectare a echipamentelor şi aparatelor se face în scopul uşurării realizării circuitelor fizice pe baza schemelor de montare, a identificării lor în toate piesele documentaţiei desenate. Modul de marcare a conductelor electrice este reglementat prin STAS 9638—74.

Ca repere de identificare ale conductelor electrice pot servi : manşoane sau inele inscripţionale, culoarea izolaţiei, manşoane sau inele colorate ş.a. [63, 68].

Sistemele de marcare se diferenţiază în două categorii :

— sisteme de marcare principale, bazate pe topologia circuitelor, fără a se lua în considerare rolul lor funcţional. Utilizarea unuia dintre aceste sisteme este obligatorie ;

— sisteme de marcare complementare, bazate pe rolul funcţional al circuitelor.

În figura 2.2 se prezintă organigrama sistemelor de marcare, pentru exemplificări indicîndu-se consultarea [68].

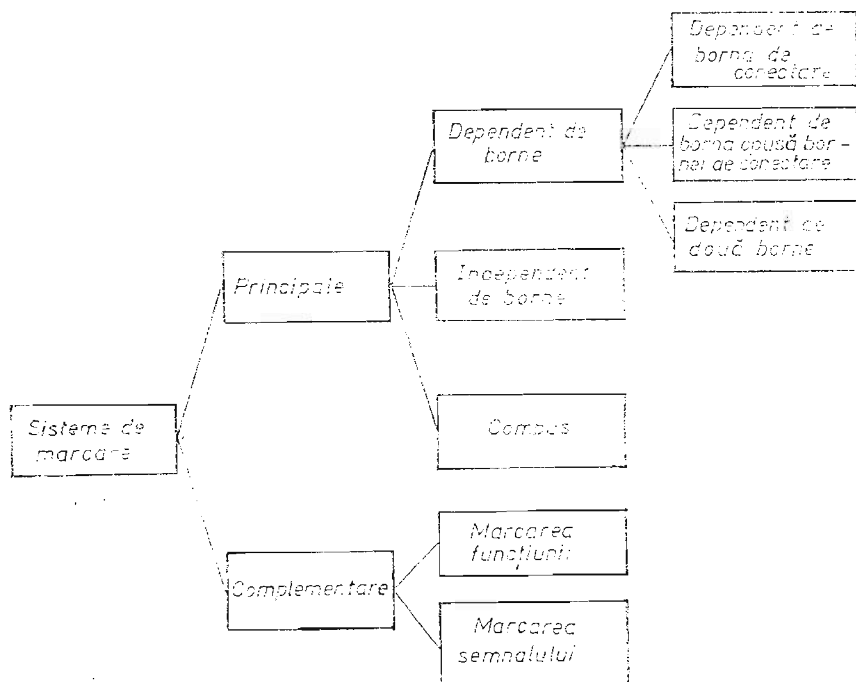


Fig. 2.2. Organigrama sistemelor de marcare a conductelor electrice.

Sistemul de marcare dependent de borne recurge la marcarea conductelor prin mărcile bornelor la care sînt racordate capetele conductei respective. Sistemul de marcare este dependent de borna de conectare, dacă reperul marcat la o extremitate a unei conducte electrice este acelaşi cu cel marcat pe borna la care conducta se racordează sau dependent de borna opusă bornei de conectare, dacă reperul este marca bornei de la cealaltă extremitate (mai frecvent utilizat). Aceste sisteme sînt recomandate circuitelor de interconectare din interiorul utilajelor, echipamentelor sau aparatelor (conexiuni interioare la un tablou de utilaj, panou, dulap etc).

Sistemul de marcare dependent de două borne, adică de ambele borne — cea de conectare şi cea opusă — se poate aplica numai conductelor electrice destinate interconectării exterioare, pe distanţe relativ mari (conexiuni exterioare), ceea ce este şi cazul instalaţiilor electrice industriale.

Sistemul de marcare independent de borne răspunde unor cerinţe suplimentare ca indicarea nodului electric din care face parte conducta, numerotarea conductelor pentru uşurarea identificării lor în jurnalul de cabluri şi conducte ş.a.

Sistemul de marcare complementar poate avea în vedere fie marcarea funcţiunii circuitelor (de forţă, comandă, măsură, semnalizare, protecţie etc.), fie a felului semnalului transmis (tensiune alternativă, continuă pozitivă sau negativă etc). Folosirea acestui sistem este la latitudinea furnizorului instalaţiei sau a executantului conexiunilor exterioare. Semnele complementare pot fi litere, litere şi cifre urmate de semnele de polaritate [68].

2.4.3. CLASIFICAREA PIESELOR DESENATE

Documentaţia tehnică desenată pentru instalaţii electrice se clasifică în următoarele patru grupe: scheme funcţionale, scheme de montare, planuri de montare şi documente generale.

Schemele funcţionale se clasifică în:
— schema tehnologică;
— schema bloc;
— schema de alimentare (distribuţie);
— schema desfăşurată;
— diagrama funcţională.

Schemele de montare se clasifică în:
— scheme de conexiuni interioare;
— tabele de conexiuni interioare;
— scheme de conexiuni exterioare;
— tabele de conexiuni exterioare.

Planurile de montare cuprind:
— planuri de montare a aparaturii pe echipamente;
— scheme sinoptice, tabele cu texte de etichete şi alte elemente necesare realizării echipamentelor;
— scheme de amplasamente şi trasee;
— planuri de montare a echipamentului electric şi a aparaturii locale.

Din documentele generale fac parte:
— specificaţia de echipamente;
— specificaţia de agregate şi aparate locale;
— specificaţia de aparate pe echipament;

— fișe tehnice ;
— jurnale de cabluri și conducte.

Pentru toate desenele care nu constituie documentație pentru prelucrări mecanice, se poate folosi un indicator de mărime redusă care să cuprindă următoarele date minime: denumirea întreprinderii la care s-a întocmit desenul, proiectantul și verificatorul, data elaborării, titlul și numărul desenului conform borderoului, pagina și numărul total de pagini (v. exemplul din fig. 2.4, *e*).

2.4.4. CONȚINUTUL PIESELOR DESENATE

A. Scheme funcționale

a. *Schema tehnologică cu automatizări* prezintă elementele instalației tehnologice (automatizate) cu legăturile lor funcționale, pe care sînt figurate echipamente și circuite ale instalației de automatizare. Această piesă desenată evidențiază deci legăturile funcționale dintre instalația automatizată și de automatizare. Reprezentarea echipamentelor electrice cu rol de comandă, măsurare sau reglare se face conform [62].

b. *Schema bloc* prezintă simplificat elementele unui aparat, echipament, utilaj sau ale unei instalații de automatizare, în scopul clarificării principiului lor de funcționare.

Ansamblurile și elementele instalației de automatizare se reprezintă prin figuri geometrice simple și se marchează în mod corespunzător [63, 62]. Legăturile funcționale dintre blocuri se trasează prin linii drepte, pe care se indică, prin săgeți, sensul de circulație al diverselor mărimi.

c. *Schema de alimentare* cuprinde alimentarea cu energie a echipamentului sau a instalației de automatizare. Se prezintă elementele primare ale instalației electrice și legăturile dintre ele, într-o reprezentare monofilară. Elementele secundare pot fi trecute pe scheme prin simboluri generale simplificate, fără legăturile dintre acestea.

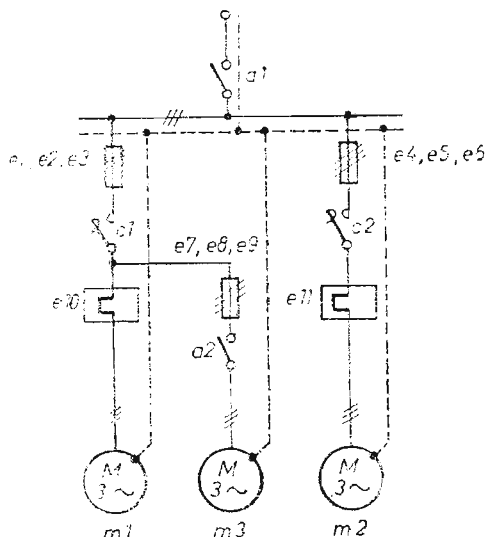


Fig. 2.3. Schema de alimentare a instalației electrice de pe un utilaj (strungul normal SN 400).

Se recomandă ca pe schema de alimentare să se treacă o legendă a aparatelor și echipamentelor, cuprinzînd mărcile și denumirile lor.

În electroenergetică, pentru schemele de alimentare se mai folosesc denumirile de scheme de distribuție sau monofilare.

În figura 2.3 este prezentat un exemplu de alcătuire a unei scheme de alimentare pentru instalația electrică de pe strungul normal SN-400 (a se vedea și figurile 4.33 ... 4.35, 4.48 etc.).

d. *Schema desfășurată* cuprinde legăturile dintre echipamentele elec-

trice sau dintre elementele componente ale acestora, realizate într-o ordine funcțională, circuitele astfel formate fiind dispuse într-o succesiune logică pentru a permite înțelegerea ușoară.

În figura 2.4, se prezintă ca exemplu o filă din schema electrică desfășurată a unei instalații pentru comanda pompelor de transvazare.

Circuitele, mai ales cele secundare, se desenează de regulă între linii orizontale. Fiecare circuit se marchează cu un număr de ordine, care în cazul circuitelor polifazate de energie este același pentru toate fazele. În cadrul aceleiași scheme desfășurate, circuitele se numerotează în continuare (fig. 2.4, 4.20, 4.23).

Elementele aparatelor și echipamentelor care cuprind două sau mai multe circuite electrice proprii se reprezintă separat, fiecare element în circuitul corespunzător de pe schema desfășurată, și li se atribuie marca aparatului sau echipamentului căruia îi aparțin. Pentru reprezentarea grafică a elementelor de circuit se folosesc semne convenționale adecvate [27]. În continuare, este necesar să se marcheze toate bornele aparatelor și echipamentelor (v.par. 2.4.1).

În schemele desfășurate, se mai indică o serie de date care să permită o informare completă și rapidă :

— diagramele funcționale ale unor echipamente (controlere, comutatoare, chei de comandă), care cuprind, într-o ordine determinată, totalitatea stărilor de funcționare succesive ale instalației, cu sau fără valori de intervale de timp sau spațiu între operațiile succesive (v. fig. 2.4, *b*) ;

— valorile numerice ale unor mărimi caracteristice ca puterea electrică (receptoare), curentul nominal (siguranțe fuzibile), tensiunea (pentru punctele de control), rezistența, capacitatea etc. ;

— manșeta, în care se înscrie rolul fiecărui circuit sau grup de circuite, se dispune deasupra sau dedesubtul schemei desfășurate (v. fig. 2.4, *c*). Uneori manșeta se folosește și la schemele de alimentare ;

— în dreptul circuitului fiecărui element de comandă sau execuție (bobină) se simbolizează totalitatea contactelor aparținînd aparatului respectiv, iar în dreptul fiecărui contact se înscrie între paranteze, numărul de ordine al circuitului în care acesta lucrează (v. fig. 2.4, *f*) ;

— în dreptul contactelor din schema desfășurată se trece sub marca aparatului, ca la o fracție, la numitor, numărul circuitului în care se află elementul de acționare (bobina) a contactului respectiv ;

— legenda, cu același conținut ca la schema de alimentare (fig. 2.4, *d*).

Pentru proiectant, schema desfășurată reprezintă totodată punctul de plecare în vederea întocmirii schemelor de montare.

După ce se convine asupra felului în care urmează a se realiza conectica dintre diferitele elemente de circuit sau subansambluri funcționale, stabilindu-se în acest fel o anumită tehnologie de asamblare, se impune ca pe schema desfășurată să se facă precizări în acest sens, precizări care să permită întocmirea în continuare a schemelor de montare.

În primul rînd, dacă pentru asamblare s-a hotărît că se va recurge la efectuarea unor conexiuni prin cleme de șir, urmează a se stabili care legături dintre elementele de circuit se vor realiza prin cleme și cum se vor organiza aceste cleme pe șiruri. De asemenea este necesar ca toate clemele să fie reprezentate pe schema desfășurată, simbolul grafic recomandat fiind, în acest caz, sub formă de „X". Amplasarea simbolului grafic al clemelor se face pe traseul unuia dintre conductoarele care se racordează la clema res-

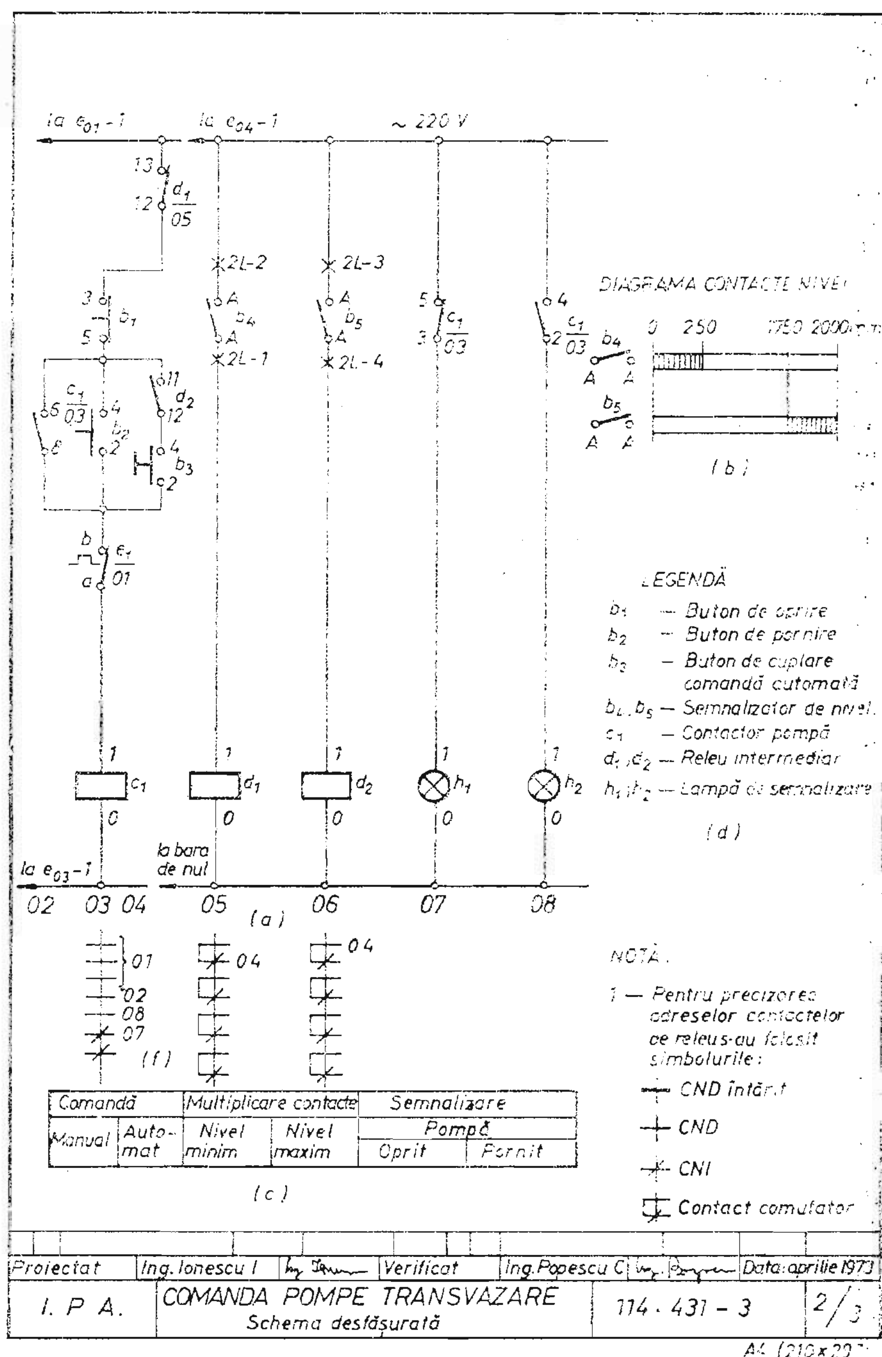


Fig. 2.4. Schema desfășurată pentru comandă pompe de transvazare, marcată după principiul bornelor:

a — reprezentarea circuitelor; *b* — diagrame funcționale; *c* — manșeta; *d* — legenda; *e* — indicator de mărime redusă; *f* — ansamblul contactelor [63].

pectivă, astfel încît punctul central al simbolului grafic să se afle pe linia de circuit (fig. 2.4).

În al doilea rînd, trebuie ales un sistem de marcare a conductelor, care va fi folosit pe schemele de montare şi stabilită o modalitate de marcare a clemelor, pentru a putea fi identificate cu uşurinţă. Există trei principii de marcare, prin care se stabilesc concomitent şi corelat modalităţile de marcare a conductelor şi clemelor, pentru a fi folosite în mod unitar în cadrul întregii documentaţii desenate aferente unui anumit produs:

— principiul bornelor (şi clemelor);
— principiul nodurilor;
— principiul mixt.

În cazul marcării după principiul bornelor, ilustrat în figura 2.4, conductele electrice nu se marchează pe schema desfăşurată. Aceasta înseamnă că pentru conducte nu se defineşte un sistem de marcare independent de borne, astfel că în schemele de montare se va recurge la un sistem de marcare principal dependent de borne.

Marcarea clemelor se face ţinînd seamă de organizarea lor pe şiruri şi de poziţia acestora în cadrul fiecărui şir. În cadrul unui şir, clemele se numerotează crescător în ordinea montării lor. Marca unei cleme se alcătuieşte, în

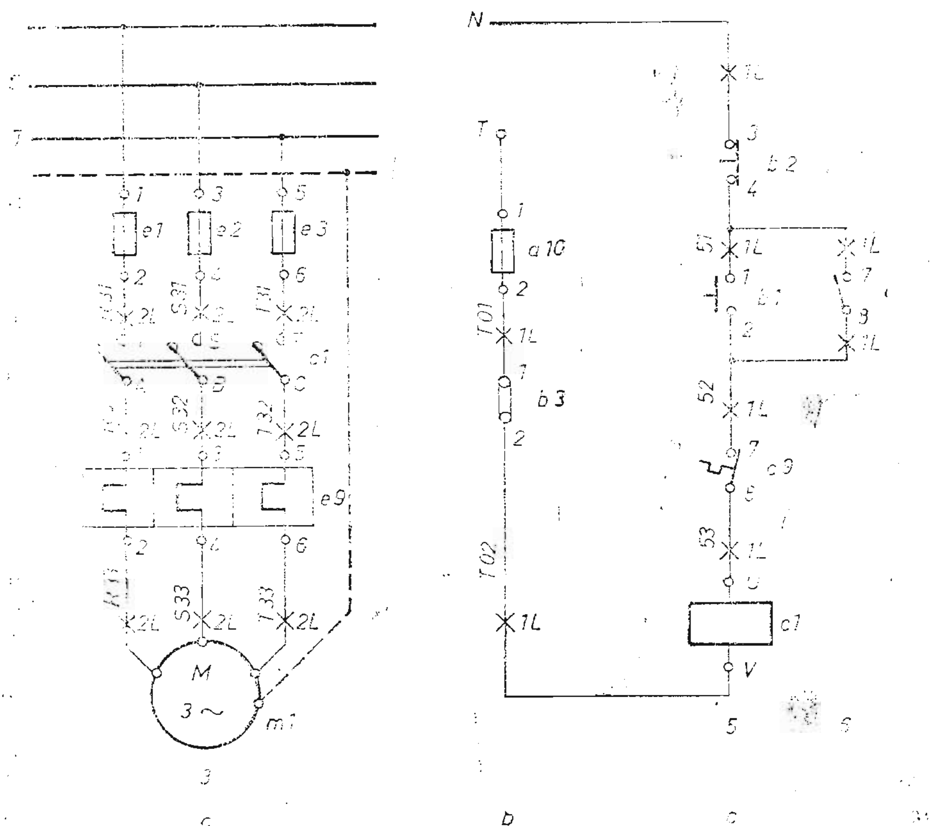


Fig. 2.5. Explicativă pentru marcarea schemelor desfăşurate după principiul nodurilor: *a* — circuit de forţă nr. 3; *b* — circuitul baretei; *c* — circuit de comandă.

baza principiului bornelor, din marca şirului de cleme urmată de numărul clemei din şirul respectiv, cele două date fiind despărţite printr-o liniuţă orizontală (de ex. *2L—13*).

Conform principiului nodurilor, ilustrat în figura 2.5 pentru trei circuite caracteristice, se marchează mai întîi pe schema desfăşurată toate nodurile, înţelegînd printr-un nod conductorul de legătură dintre două borne sau totalitatea conductoarelor legate galvanic nemijlocit. Marca unui nod se alcătuieşte din numărul circuitului pe care se află, urmat de numărul de ordine al nodului pe circuitul respectiv. În cazul circuitelor cu mai mult de nouă (9) noduri, numărul nodului pe circuit va fi alcătuit din două (sau mai multe) cifre, numerotarea făcîndu-se în consecinţă. În circuitele primare (de energie), înaintea cifrelor care alcătuiesc marca nodului se trece o literă mare, indicînd faza la care este legat nodul respectiv (de ex. *R42*, W 023, N_p 51, fig. 2.5, *a*). În circuitul baretelor, nenumerotat pe schema desfăşurată, înaintea numărului nodului se trece litera mare indicînd faza la care se racordează şi cifra zero (fig. 2.5, *b*).

Introducerea mărcilor nodurilor pe schema desfăşurată, mărci care pentru conductele electrice pot constitui baza unui sistem de marcare independent de borne, face posibilă ca marcarea ulterioară a conductelor pe schemele de montare să se facă după sistemul compus.

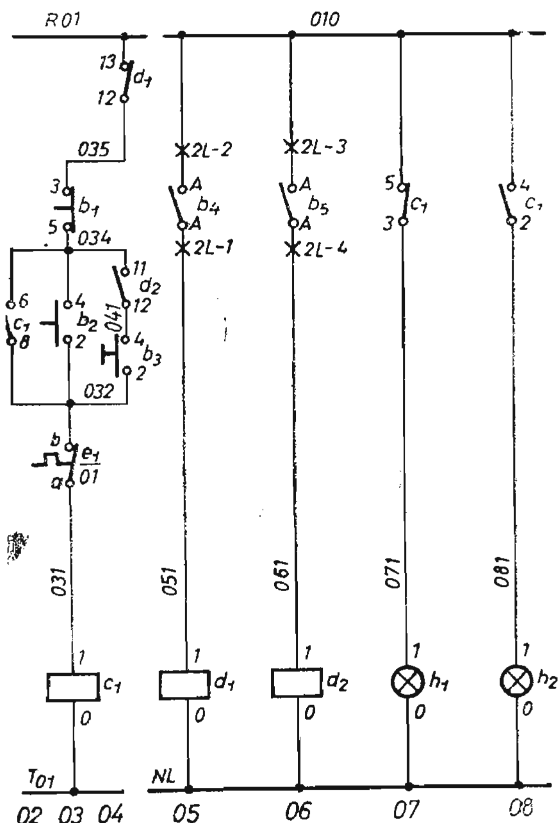
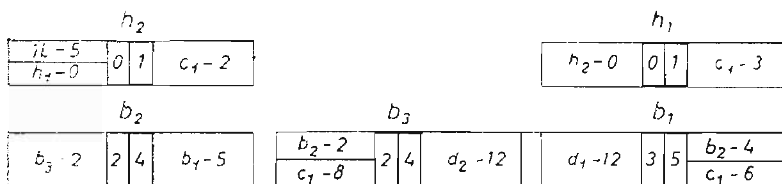
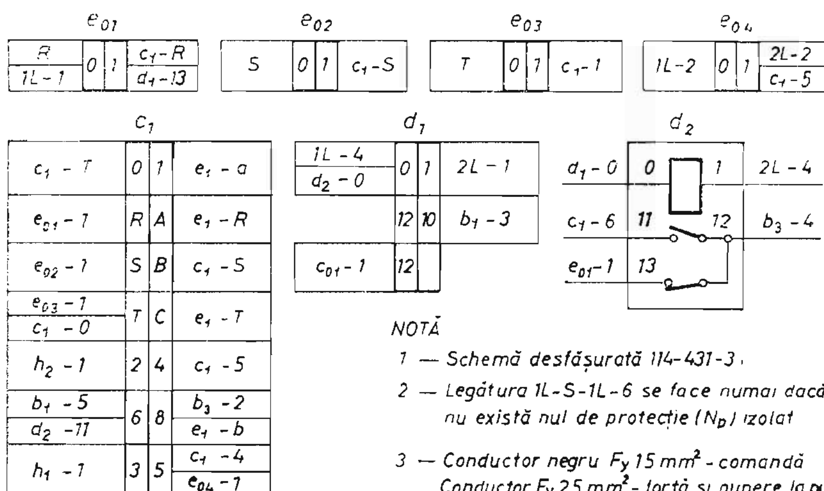


Fig. 2.6. Schemă desfăşurată marcată după principiul mixt (sînt reprezentate numai circuitele).

După principiul nodurilor, clemele se marchează pe schema desfăşurată numai cu marca şirului din care face parte (de ex. *1L*). Acest lucru este suficient, deoarece nu trebuie pierdut din vedere faptul că în fond, clemele, acolo unde sînt folosite, participă la realizarea constructivă a nodurilor din care fac parte, deci la materializarea acestora, astfel încît identificarea lor se poate face precis prin mărcile nodurilor.

Principiul mixt prevede ca pe schema desfăşurată să se marcheze nodurile ca la principiul nodurilor şi clemele ca la principiul bornelor. Acest principiu de marcare se recomandă pentru instalaţiile de automatizare de mare complexitate. În figura 2.6, se prezintă circuitele schemei desfăşurate din figura 2.4, principiul de marcare utilizat fiind de această dată cel mixt.





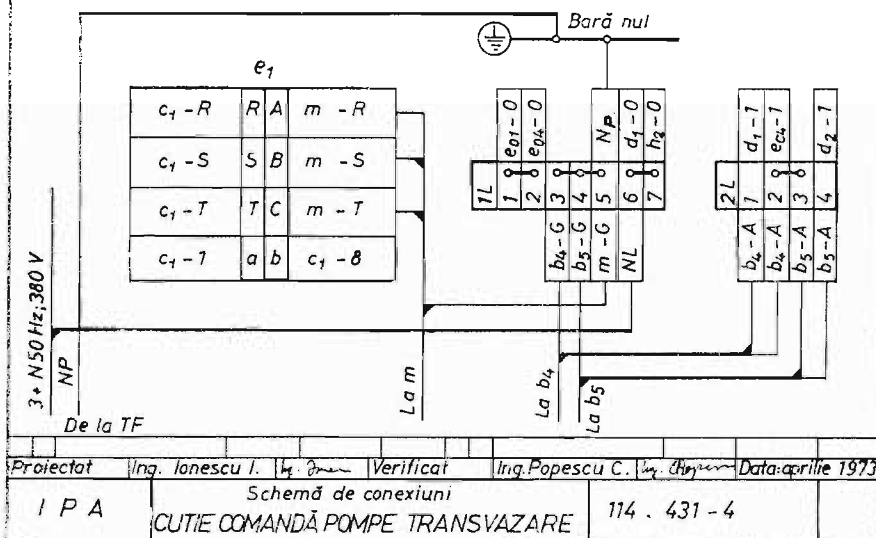


Fig. 2.7. Schema de conexiuni interioare pentru instalația electrică avînd schema desfășurată din figura 2.4, în care s-a utilizat principiul bornelor.

e. *Diagrama funcţională* Aşa cum pe schema desfăşurată s-au reprezentat diagramele funcţionale ale unor aparate din compunerea produsului la a cărui realizare acestea concură, tot aşa se poate întocmi o diagramă funcţională pentru produsul însăşi.

Diagrama funcţională sau de secvenţe a produsului (aparat, echipament, instalaţie) cuprinde stările sale de funcţionare succesive, cu sau fără valori de intervale de timp sau spaţiu între acestea, începînd de la o anumită stare iniţială pînă cînd se revine din nou în aceeaşi stare.

Diagrama funcţională se întocmeşte numai dacă este necesară explicitarea funcţionării produsului.

B. Scheme de montare

a. *Schema de conexiuni interioare* constituie desenul de execuţie pentru realizarea legăturilor dintre subansamblurile şi aparatele din interiorul unui echipament sau utilaj, inclusiv legăturile care se fac prin şirurile de cleme. În figura 2.7, se prezintă schema de conexiuni interioare pentru instalaţia electrică avînd schema desfăşurată din figura 2.4.

Toate elementele componente ale instalaţiei interioare a echipamentului considerat se reprezintă prin figuri geometrice simple şi numai în caz de necesitate se recurge la reprezentarea schemelor lor interioare (de ex. la releul *d2,* în fig. 2.7). Se recomandă ca la reprezentarea elementelor componente să se păstreze poziţiile lor relative din interiorul ansamblului, fără a se pune problema respectării unei anumite scări a desenului.

Clemele se reprezintă conform încadrării lor în şirurile de cleme utilizate şi se numerotează în ordine crescătoare dacă marcarea se face după principiile bornelor (v. fig. 2.7) sau mixt, sau li se atribuie marca nodului din care fac parte, dacă marcarea se face după principiul nodurilor.

Conductele electrice se pot trasa în întregime sau numai prin capetele de legătură de la bornele aparatelor (v. fig. 2.7, la releul *d2*) sau şirurilor de cleme. Se permite ca, în cazul desenării manşoanelor inscripţionate (denumite şi tile), să nu se mai figureze capetele de legătură.

Marcarea conductelor electrice se face după sistemul dependent de borna opusă, dacă s-a ales marcarea după principiul bornelor sau conform sistemului compus — dacă s-a stabilit a se lucra în baza principiilor nodurilor sau mixt.

Adresa capătului opus se formează în mod concret astfel:

— în sistemul de marcare după principiul bornelor, adresa este alcătuită din marca aparatului şi simbolul bornei la care se leagă capătul opus, cele două simboluri fiind despărţite printr-o liniuţă orizontală (de ex. *c1—2* sau la cleme *1L—5*);

— în sistemele de marcare după principiile nodurilor sau mixt, adresa este formată din simbolul nodului la care este legat conductorul per simbol aparat-bornă sau şir de cleme, respectiv per simbol aparat sau şir de cleme-număr clemă (de ex. *52/b1—2, T02/1L* în cazul principiului nodurilor şi *52/b1, T02/1L—3* în cazul principiului mixt).

În tabelul 2.9, se prezintă comparativ modalităţile de marcare ale conductelor şi clemelor pe schemele desfăşurate şi de conexiuni conform celor

Tabelul 2.9

Marcarea conductelor și clemelor pe schemele desfășurate și de conexiuni

Schema	Principiul de marcare					
	Bornelor		Nodurilor		Mixt	
	Conductă	Clemă	Conductă	Clemă	Conductă	Clemă
Desfășurată	— (nu se marchează)	nr. șir L— nr. clemă ex. 1L—12	Marcă nod: —nr. circuit nr. nod pe circuit ex. 034; —faza nr. circuit nr. nod (la circuitele primare) ex. R31	nr. șirL (marca șirului de cleme) ex. 1L	Marcă nod (ca la principiul nodurilor) ex. 102, T01	nr. șir L— nr. clemă (ca la principiul bornelor) ex. 2L—7
Conexiuni interioare	Sistem dependent de borna opusă: marcă aparat-bornă; marcă șir-nr. clemă ex. b4—1, 2L—5	,,	Sistem compus: marcă nod/ marcă aparat-bornă (șir cleme) ex. 034/b1—5; 121/2L	Marcă nod ex. 061, NL	Sistem compus: marcă nod/ marcă aparat (marcă șir-nr. clemă) ex. 041/d2; 121/2L—1	,,

trei principii de marcare, iar în tabelul 2.10 se exemplifică marcarea conductelor pe schemele de conexiuni interioare, în cazul unui șir de cleme și al unui aparat (releu termic). La șirurile de cleme, s-au reprezentat numai manșoanele inscripționale (tilele), iar la aparate, capetele conductelor (v. tab. 2.10); în cazul aparatelor (relee termice), s-a considerat util să se reprezinte și schemele lor interioare. De observat că, la șirul de cleme marcat după principiul nodurilor (tab. 2.10), s-a procedat la simplificarea adresei capătului conductei, omițîndu-se intenționat marca nodului; acest lucru este posibil, dar numai la șirul de cleme, avînd în vedere că marca nodului apare în imediata vecinătate, ca simbol al clemei respective.

Pe fiecare schemă de conexiuni se trec în mod obligatoriu numerele de desene ale tuturor schemelor desfășurate corespunzătoare. Printr-o notă, se specifică secțiunea și culoarea izolației conductelor electrice (v. fig. 2.7).

b. *Tabelul de conexiuni interioare* cuprinde într-o formă centralizată, tabelară, date complete asupra legăturilor dintre subansamblurile, aparatele și șirurile de cleme din alcătuirea unui echipament.

Pe tabelele de conexiuni interioare se specifică: șirurile de cleme și clemele; simbol aparat-bornă și numărul nodului, în cazul marcării după principiul nodurilor sau mixt. Pe un rînd se trec toate conexiunile care fac parte din același nod, în ordinea execuției fizice a legăturilor. Pentru conducte, se indică tipul, secțiunea și eventual culoarea izolației, folosindu-se la nevoie numere cod, introduse printr-o tabelă de componență [63].

c. *Schema de conexiuni exterioare* reprezintă desenul de execuție pentru realizarea legăturilor dintre diferitele echipamente, utilaje și aparate locale din compunerea instalației. Pe schemele de conexiuni exterioare se

Exemplificarea marcării conductelor și clemelor pe schemele de conexiuni interioare

Principiul de marcare	Șir de cleme	Aparat (releu termic)
Bornelor	e10-2, b3-1, b3-2, b2-3, b2-4, b1-1, b1-2, —, —, — 1L, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 1L —, —, c1-V, e9-3, c1-2, —, c1-4, c1-U, —, — Legătură galvanică (punte)	c1-A, c1-B, c1-C, N R, S, T, 1 A, B, C, 3 m1-U, m1-V, m1-W, 1L-4 e9
Nodurilor	e11-1, e12-1, e21-1, e22-1, e11-2, —, ..., h12-1, h21-1, h22-1 1L, R11, S11, R21, S21, R10, R10, ..., 91, 101, 111, 1L c1-R, c1-S, c2-R, c2-S, c1-V, d1-V, ..., c1-6, c2-4, c2-6	R32/2L, S32/2L, T32/2L, 52/1L 1, 3, 5, 7 2, 4, 6, 9 R33/2L, S33/2L, T33/2L, 53/1L e9
Mixt	81/c1, 71/c1, NO/c1, —, 94/c2, 95/c2, 111/c2, 112/c2, 113/c3, ... 1L, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, ..., 1L 81/2L-7, 71/2L-6, 0, NO/2L-5, 94/2L-14, 95/2L-15, 111/2L-8, 112/2L-16, 113/3L-17, ...	R32/c2, S32/c2, T32/c2, R0/c1 U1, V1, W1, 1 U2, V2, W2, 3 R33/m1, S33/m1, T33/m1, 9/1L-14 e9

recomandă să se traseze numai capetele conductelor electrice, pe care se înscrie reperul de identificare independent de borne atribuit conductei (de ex. *K1, KC13, KF7*), precum și adresa capetelor fiecărei conducte. Se menționează, de asemenea, tipul și lungimea conductelor.

d. *Tabelul de conexiuni exterioare* cuprinde aceleași legături ca și schema de conexiuni exterioare, dar sub formă tabelară, similar cu tabelele de conexiuni interioare. Se întocmesc fie scheme, fie tabele de conexiuni exterioare.

Conexiunile interioare și exterioare pot fi reunite pe un tabel de conexiuni unic care să cuprindă datele necesare efectuării tuturor legăturilor; un exemplu în acest sens poate fi consultat în [63].

C. Planuri de montare

a. *Planurile de montare* a aparaturii pe echipamente sînt desene de execuție cu specific mecanic, urmînd a se întocmi conform standardelor în vigoare. O particularitate a acestora o constituie modul de reprezentare și identificare a aparatelor electrice. Acestea se reprezintă numai prin conturul lor, folosind în general linii îngroșate și se identifică prin mărcile atribuite în restul documentației; aparatele electrice nu se trec în ta-

bela de componență a ansamblului, ele putînd fi menționate într-o legendă.

b. *Schemele sinoptice* sînt reproduceri simplificate ale schemelor tehnologice pe panourile frontale ale echipamentelor și utilajelor.

Tabelele cu texte de etichete, necesare identificării aparatelor de pe panourile frontale, trebuie să cuprindă: numărul etichetei sau simbolul aparatului pe care îl însoțește, textul, dimensiunile, culoarea fondului și a inscripției și înălțimea literelor mari.

Alte elemente care pot fi necesare executării echipamentului pot fi, de asemenea, cu specific mecanic: decupări pentru aparate și reprezentări ale unor componente mecanice netipizate.

c. *Schemele de amplasamente și trasee* cuprind amplasamentele echipamentelor și aparatelor locale ale instalației electrice precum și traseele legăturilor prin conducte dintre ele, figurate pe planurile instalației tehnologice.

Pentru conducte, trebuie să se indice modul de poziționare, iar în cazul unui număr mare de cabluri, să se dea detalii de organizare a traseelor lor.

Dintre piesele desenate întocmite pentru instalațiile electrice industriale, care se încadrează în categoria schemelor de amplasamente și trasee, se menționează cele consacrate sub denumirile de planul instalației de forță și planul instalației de iluminat.

Planul instalației de forță se întocmește de obicei la scara 1 : 100 sau 1 : 50, utilizînd pentru conducte, echipamente sau utilaje simboluri standardizate sau convenite (printr-o legendă). Planul cuprinde: principalele elemente ale construcțiilor (pereți, stîlpi, uși etc.); pozițiile utilajelor cu indicarea puterilor nominale ale acestora; amplasarea posturilor de transformare și a tablourilor de distribuție, care se notează prin simboluri (*PT*1, *TG*, *TP*1, *TS*1—2 etc.), indicîndu-se totodată puterea și curentul cerut; traseele coloanelor, care se marchează prin indicative (*M*1, *M*2 etc.) pentru a fi mai ușor reperate și traseele circuitelor; traseele instalațiilor de protecție contra tensiunilor accidentale (centura de legare la priza de pămînt de protecție); aparatele de comutație amplasate în afara tablourilor de distribuție.

Pentru conducte se indică de asemenea: tipul conductei sau cablului, numărul de conductoare și secțiunea (cu referire și la jurnalul de cabluri și conducte), diametrul și tipul tubului de protecție, modul de amplasare (aparent, îngropat etc.).

În figura 2.8 se exemplifică modul de întocmire a planului instalației de forță.

Planul instalației de iluminat cuprinde în principiu aceleași elemente ca și planul instalației de forță. Se recomandă ca pentru corpurile de iluminat să se indice numărul de corpuri, tipul (eventual și codul conform indicatorului de deviz), numărul și puterea lămpilor care se montează în corp, înălțimea de amplasare, marca întreruptorului sau aparatului pe circuitul căruia este montat și faza la care se racordează. În afară de denumirea încăperii, este bine să se indice pe plan nivelul mediu al iluminării și încadrarea încăperii din punct de vedere al caracteristicilor mediului.

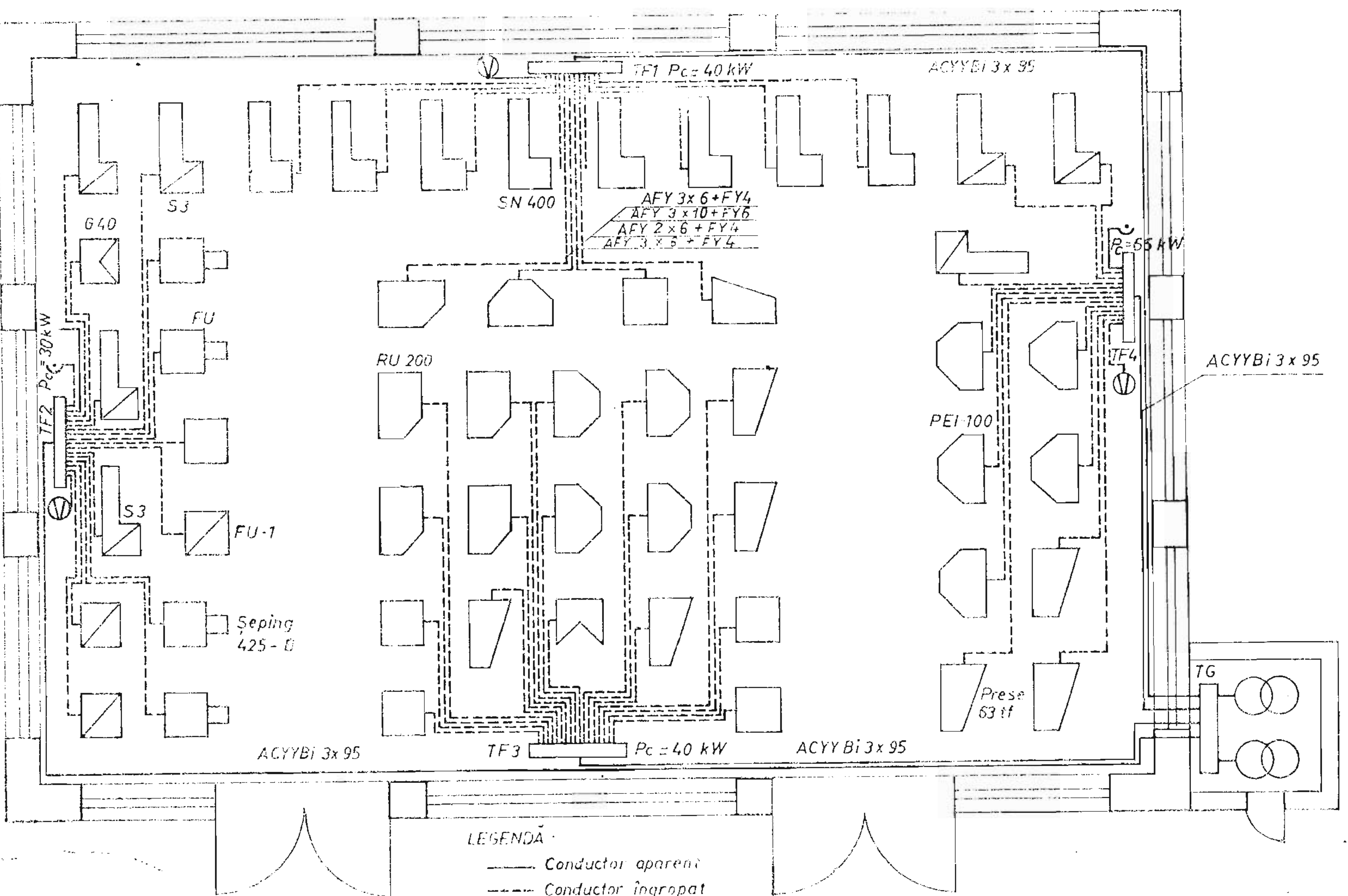


Fig. 2.8. **Planul** (schema de amplasamente și trasee *a*) **instalației de forță — exemplu.**

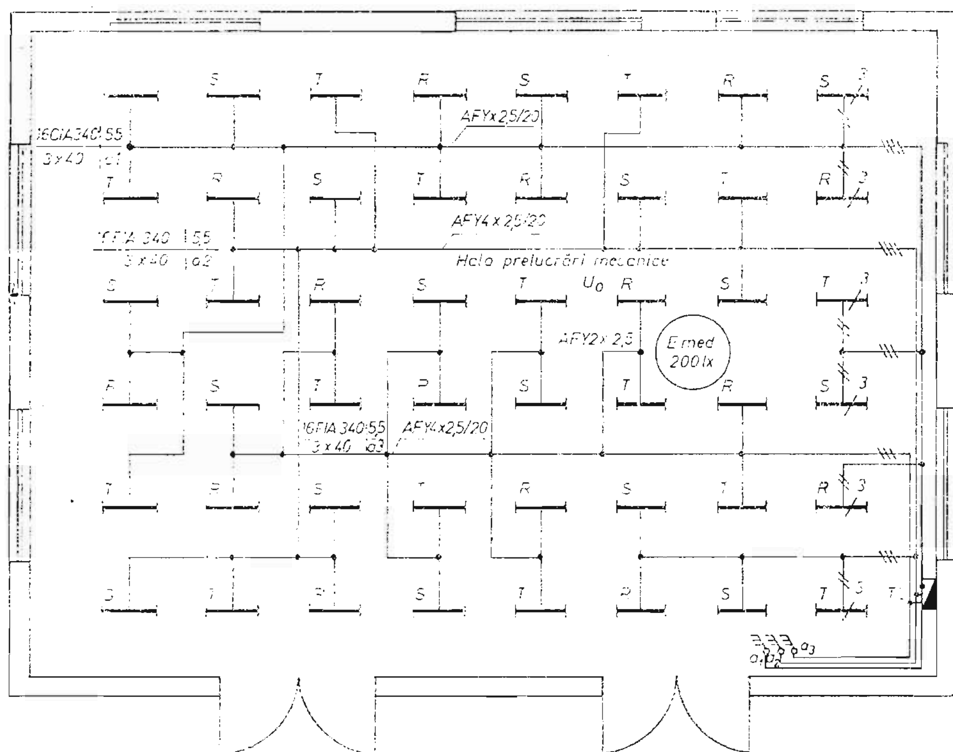


Fig. 2.9. Planul (schema de amplasamente și trasee a) instalației de iluminat — exemplu.

Instalațiile de iluminat de siguranță pentru continuarea lucrului, evacuare etc. se reprezintă prin simboluri și indicative distincte, evidențiate în legenda planului.

Conținutul planului instalației de iluminat se exemplifică în figura 2.9.

D. Documente generale

a. *Specificația de echipamente* cuprinde caracteristicile necesare pentru identificarea și procurarea echipamentelor instalației electrice (tablouri, cutii echipate, dulapuri, panouri etc.), care sînt legate între ele prin conducte.

Forma tabelară a specificației de echipamente este indicată în tabelul 2.11; cifrele scrise între paranteze în capul de tabel indică dimensiunile recomandate pentru rubrici, în mm. Organizarea formatelor și indicatorul care poate fi utilizat sînt exemplificate în [63].

Alte recomandări de completare a specificației de echipamente:

— în rubrica numită „caracteristici tehnice" să se treacă tensiunile și puterea pentru fiecare circuit de alimentare;

— la rubrica „observații" se va trece numărul specificației de aparate din echipament (dacă nu este un echipament tipizat) și locul de montaj al echipamentului.

Tabelul 2.11

Formularul specificațiilor de echipamente, de agregate și aparate locale și de aparate pe echipament

Nr. crt. (10)	Simbol (30)	Denumirea (50)	Caracteristici tehnice (50)	Tip-cod (30)	Furnizor (30)	Bucăți (10)	Observații (60)

b. *Specificația de agregate și aparate locale* cuprinde totalitatea agregatelor și aparatelor care nu sînt montate pe echipamentele electrice. Se întocmește ca și specificația de echipamente, existînd recomandarea de a se defalca pe pagini separate aparatele-utilaj, aparatele-material, aparatele din țară și aparatele din import.

c. *Specificația de aparate pe echipament* trebuie să cuprindă caracteristicile aparatelor, tipul și numărul clemelor de șir, al regletelor, precum și tipurile și lungimile totale ale conductelor folosite pentru conexiunile interioare. Se folosește același formular, prezentat în tabelul 2.11.

d. *Fișa tehnică* se întocmește pe tip de aparat și conține toate caracteristicile tehnice necesare procurării și utilizării lui. Se redactează fișe tehnice numai pentru aparatele cu caracteristici speciale, ale căror parametri tehnici nu pot fi cuprinși în mod convenabil, în rubrica de „caracteristici tehnice" din specificație.

e. *Jurnalul de cabluri și conducte* reprezintă o listă a conexiunilor exterioare, dintre echipamente, aparatura locală și utilaje tehnologice, realizate cu conducte electrice, inclusiv cabluri.

Tabelul 2.12

Jurnal de cabluri și conducte (model)

Nr. crt. (10)	Marca (30)	Pleacă de la (50)	Sosește la (50)	Tip și dimensiune (40)	Lungimea, m (30)	Nr. de fire: Ocupate (17,5)	Nr. de fire: Libere (17,5)	Observații (25)
1	*T—Da1*	Tabloul forță *T*	Dulap aparate *D*, întreruptor *a*1	3AFY 10 + + FY 2,5/IPE 29	10	4	—	(Mod de montare)

Forma și conținutul recomandat pentru jurnalul de cabluri și conducte sînt prezentate în tabelul 2.12; în capul de tabel, între paranteze, sînt indicate dimensiunile rubricilor.

Cablurile se defalcă pe pagini separate de restul conductelor. Pentru indicatorul de utilizat se consultă [63].

Capitolul 3
INSTALAŢII ELECTRICE DE ÎNALTĂ TENSIUNE

Întreprinderile industriale sînt alimentate din reţelele sistemului energetic, la tensiuni cît mai înalte, în funcţie de puterea cerută care poate atinge valori de sute de megawaţi. Alegerea tensiunii optime se face prin compararea tehnico-economică a tuturor variantelor raţionale, care pot fi adoptate (v. tab. 3.1).

Instalaţia electrică de înaltă tensiune a unei întreprinderi industriale se compune din următoarele părţi, avînd funcţionalităţi distincte:

— *instalaţia de racordare la sistemul energetic* (racordul), reprezentînd liniile electrice care fac legătura între reţeaua sistemului energetic şi staţia de distribuţie sau transformare a întreprinderii (staţia de primire);

— *instalaţia de distribuţie* în medie tensiune la consumatorii de pe teritoriul întreprinderii, reprezentînd totalitatea reţelelor care leagă posturile de transformare şi receptoarele de înaltă tensiune la barele staţiei de distribuţie sau transformare.

Determinarea structurii reţelei şi alegerea numărului şi amplasamentului staţiilor de primire a consumatorilor se va face ţinînd seama de:

— *situaţia energetică existentă* în zona respectivă, de perspectiva de dezvoltare a regiunii pentru următorii 10—15 ani;

— *importanţa consumatorului*, caracterizată prin clasa acestuia (cu indicarea perspectivei de dezvoltare pentru următorii 5—10 ani);

— *siguranţa în alimentare*; sistemul de alimentare al consumatorului va trebui să asigure obligatoriu o alimentare de bază corespunzătoare puterii maxime absorbite; de asemenea sistemul va asigura, facultativ, o alimentare de rezervă conform nivelului de rezervare, aleasă printr-o analiză tehnico-economică;

— *concepţia unitară şi elasticitatea* în exploatare a schemei.

3.1. INSTALAŢIA DE RACORDARE LA SISTEMUL ENERGETIC

Clasificarea instalaţiilor de racordare se face după numărul de linii prin care se realizează racordarea şi după configuraţia reţelei la capătul dinspre consumator al racordului.

După numărul de linii, racordul poate fi:

— cu o linie;

— cu două linii.

După configurația rețelei la capătul dinspre consumator al racordului, acesta poate fi:

— cu *PT* (fără *SD*, în medie tensiune);
— cu *SD* (racord în medie tensiune);
— cu *ST* (racord în înaltă tensiune, denumit racord adînc).

În general se recomandă executarea racordurilor la tensiuni cît mai înalte, cu pătrunderea adîncă a acestora spre centrul de greutate al sarcinilor.

În tabelul 3.1 sînt prezentate schemele instalațiilor de racordare la sistemul energetic.

Tabelul 3.1

Schemele instalațiilor de racordare la sistemul energetic

Schema de racordare	Domeniul de utilizare
1 — Cu o singură linie de alimentare, fără stație de distribuție Stația sistemului 6–20 kV PT, PT, PT, PT	— Alimentarea consumatorilor din categoria *III* și uneori *II*
2 — Cu o singură linie de alimentare și stație de distribuție la consumator Stația sitemului 6–20 kV SD	— Alimentarea consumatorilor din categoria *III* și *II*
3 — Cu două linii de alimentare și stație de distribuție Stația sistemului 6–20 kV SD	— Alimentarea consumatorilor din categoria *I* și *II*

Schema de racordare	Domeniul de utilizare
4 — Cu o singură linie de alimentare și stație de transformare — racord adînc. Stația sistemului 35 - 400 kV LEA sau LEC ST 6-20 kV	— Alimentarea consumatorilor din categoria *III* și parțial *II*. — racordul adînc prezintă următoarele avantaje; — mărirea siguranței în alimentare; — micșorarea curenților de lucru sau de scurtcircuit; — simplificarea schemelor de comutație primară (se utilizează siguranțe fuzibile de *IT*); — simplificarea reglajului tensiunii; — elasticitatea în racordarea noilor consumatori.
5 — Cu două linii de alimentare și stații de transformare — schema în *H*. Stația sistemului 35 - 400 kV LEA sau LEC ST 6-20 kV	— Alimentarea consumatorilor din categoria *I* și parțial *II*.

3.2. STAȚII DE TRANSFORMARE

Sînt puncte de alimentare cu energie electrică de la înaltă sau foarte înaltă tensiune la medie tensiune. Reprezintă elementul de legătură dintre instalația de racordare la sistem și instalația de distribuție în înaltă tensiune.

Din punct de vedere al amplasării, stațiile de transformare pot fi de *tip exterior sau interior.*

Soluția constructivă, în general, este determinată de tipul constructiv al separatoarelor și al întreruptoarelor, de tipul și modul de montare al unităților de transformatoare, de particularitățile de amplasare în zonă (caracteristicile terenului).

Funcţional, la orice staţie de transformare se disting:
— circuite primare;
— circuite secundare;
— servicii proprii;
— instalaţii auxiliare.

3.2.1. SCHEME DE CONEXIUNI ALE CIRCUITELOR PRIMARE ŞI SOLUŢII CONSTRUCTIVE

Alegerea schemei de conexiuni şi a soluţiei constructive se face pe baza următoarelor elemente:
— funcţia staţiei;
— încadrarea în sistemul energetic;
— categoria consumatorilor;
— siguranţa în funcţionare;
— numărul circuitelor racordate;
— elasticitatea în exploatare;
— simplitatea schemelor de protecţie şi de automatizare;
— sistemul de exploatare al staţiei (cu personal permanent, cu personal la domiciliu, cu alarmare la un centru de exploatare prin telemecanică).

La alegerea schemei de conexiuni a staţiilor se va ţine seama de perspectiva dezvoltării consumatorilor pe o perioadă de 5 ani, considerată de la intrarea în funcţiune a primei etape a staţiei şi vor fi verificate condiţiile de încadrare în sistem pe o perioadă de 10 ani.

Schema de conexiuni trebuie să fie cît mai simplă, în vederea obţinerii unei eficienţe economice sporite, a unei exploatări simple şi a respectării normelor de protecţie a muncii.

Schemele de conexiuni ale circuitelor primare se încadrează într-o serie de scheme tip fundamentale indicate în tabelul 3.2, care pot fi împărţite în două mari categorii:
— cu bare colectoare;
— fără bare colectoare.

Schemele cu bare colectoare pot avea bare simple sau bare duble, secţionate sau nesecţionate. Schemele fără bare colectoare se încadrează în categoria schemelor bloc.

Realizarea schemei de conexiuni propuse se face prin combinarea judicioasă a schemelor tip fundamentale.

În cadrul schemelor de conexiuni, se va prevedea secţionarea longitudinală a unui sistem de bare colectoare în staţiile cu două sisteme de bare în următoarele cazuri [45]:

— staţii de 110 kV cu un număr mai mare de 14 circuite racordate;
— staţii de 110 sau 220 kV cu un număr mai mic de 14 circuite racordate, dacă este necesară secţionarea reţelei pentru optimizarea circulaţiei puterilor în scopul limitării curenţilor de scurtcircuit, al separării consumatorilor care produc şocuri de putere în reţele sau care sînt influenţaţi în mod deosebit de variaţiile de tensiune din reţea, al limitării consecinţelor extinderii avariilor la bare, al realizării unor scheme speciale de automatizare etc.

Schemele de conexiuni ale circuitelor primare

Nr. crt.	Denumirea schemei	Schița schemei	Caracteristicile schemei
1	2	3	4
1	Cu bară colectoare simplă nesecționată		*Avantaje :* — număr minim de aparate de comutație ; — investiții reduse. *Dezavantaje :* — siguranță redusă în funcționare ; orice avarie sau revizie la bare sau separatoarele de bară conduce la întreruperea totală. *Utilizare :* la alimentarea consumatorilor de importanță redusă sau alimentați pe mai multe căi.
2	Cu bară colectoare simplă secționată		*Avantaje :* — siguranță mărită în funcționare ; fiecare secție de bară este practic independentă ; — reducerea curenților de scurtcircuit prin montarea pe cupla longitudinală *CL* a bobinelor de reactanță. *Dezavantaje :* — imposibilitatea efectuării reviziei la orice întreruptor fără întreruperea circuitului. *Utilizare :* la consumatori importanți.
3	Cu bară colectoare simplă nesecționată și bară de transfer		*Avantaje :* — număr redus de aparate de comutație ; — posibilitatea de a scoate în revizie întreruptoarele fără întreruperea circuitului ; — reducerea duratei întreruperii în cazul avarierii unui întreruptor. *Utilizare :* la stații de transformare coborîtoare de importanță curentă.

Tabelul 3.2 (continuare)

1	2	3	4
4	Cu bară colectoare simplă cu două secții longitudinale și bară de transfer		— siguranță mărită în funcționare ; — posibilitatea de a scoate în revizie întreruptoarele fără întreruperea circuitului ; — reducerea duratei întreruperii în cazul avariei unui întreruptor. *Utilizare :* la stații de transformare de importanță curentă pînă la 110 kV și mai mult.
5	Cu bare colectoare duble nesecționate		— barele duble măresc apreciabil siguranța în funcționare ; distribuția celulelor pe cele două sisteme de bare este elastică, modificabilă prin simple manevre de separatoare, fără întreruperi ; — funcționarea se face numai pe un sistem de bare cu *CT* deschisă ; — posibilitatea de efectuare a reviziilor la barele colectoare sau separatoarele de bară numai cu scoaterea de sub tensiune a sistemului respectiv ; toate celulele, cu excepția celei care se revizuiește, rămîn sub tensiune. *Dezavantaje :* — cheltuieli de investiții mai ridicate (cu 20–40% mai ridicate decît schemele echivalente cu bară colectoare simplă) ; — comutația primară mai complicată, necesitatea blocajelor automate la separatoare ; — un defect al întreruptorul de pe cupla transversală scoate instalația de sub tensiune. *Utilizare :* la stații de transformare cu consumatori importanți.

1	2	3	
6	Cu bare colectoare duble cu două secții longitudinale	l_1 l_2 SBI SBII CL CT1 CT2 m1 m2	*Avantaje :* — siguranță mărită în funcționare ; secțiile de bare sînt practic independente ; — reducerea curenților de scurtcircuit prin montarea pe cupla longitudinală (CL) a bobinelor de reactanță ; — funcționarea se face pe bara de lucru (bara secționată longitudinal prin cuplă). *Utilizare :* la stații de transformare importante de 110 kV și mai mult.
7	Schemă bloc transformator ridicător-linie	m1	*Avantaje :* — număr minim de aparate ; — investiții reduse. *Dezavantaje :* — siguranță redusă ; dificultăți în realizarea protecției prin relee împotriva defectelor interne în transformator ; — obligația ca numărul transformatoarelor să fie egal cu numărul de linii. *Utilizare :* instalații cu caracter provizoriu sau etapă inițială a unei stații de transformare.

Funcțional, soluția constructivă este realizată printr-o structură celulară (fig. 3.1) conținînd :

— celule de linie (fig. 3.2) ;

— celule de transformator (fig. 3.3) ;

— celule de cuplă (fig. 3.4) ;

— celule de măsură și descărcătoare (fig. 3.5) ;

— celule de rezervă.

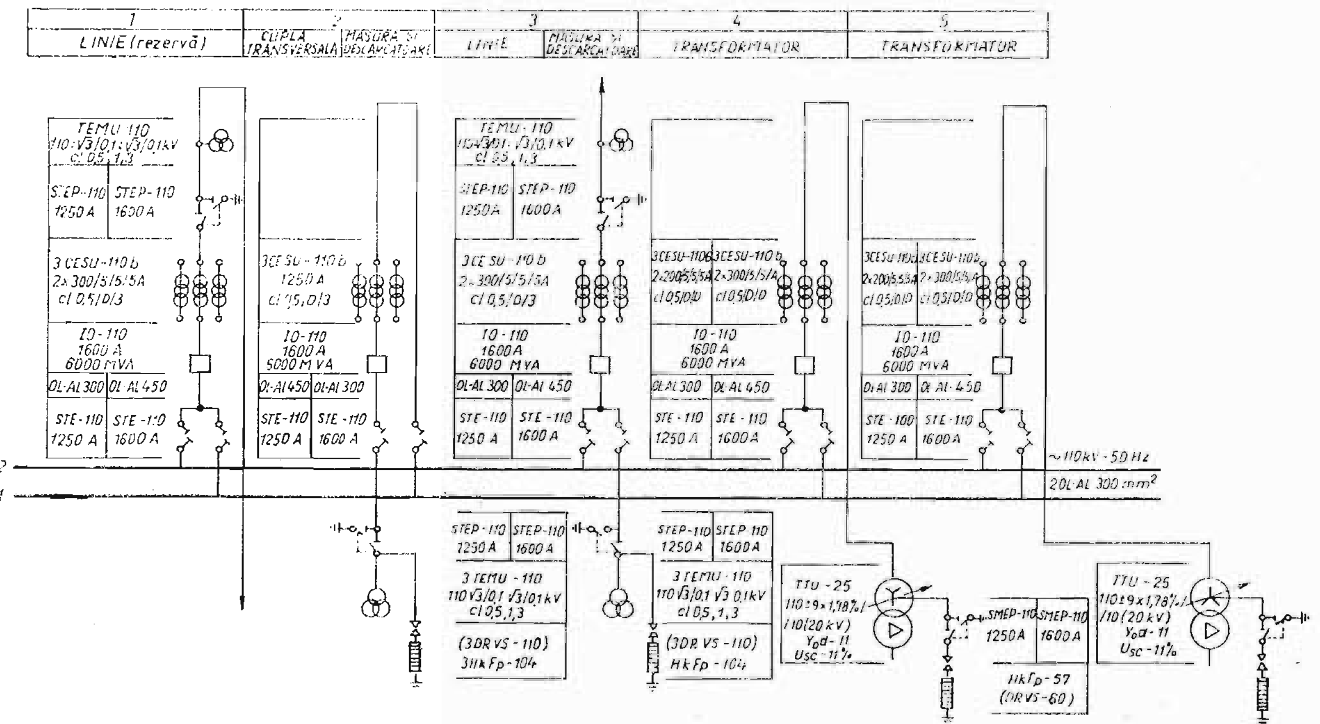
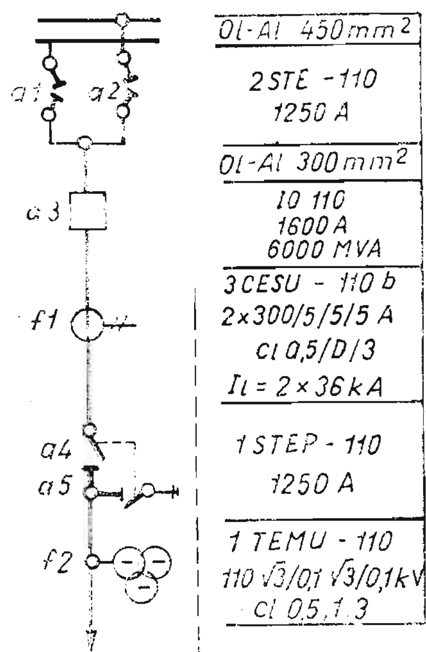
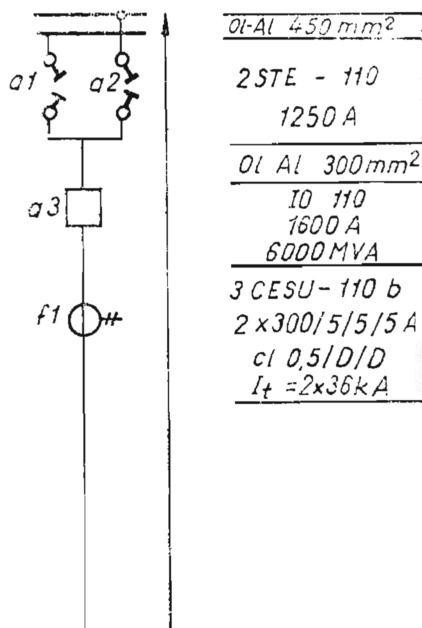


Fig. 3.1. Schema circuitelor primare ale unei stații de transformare.



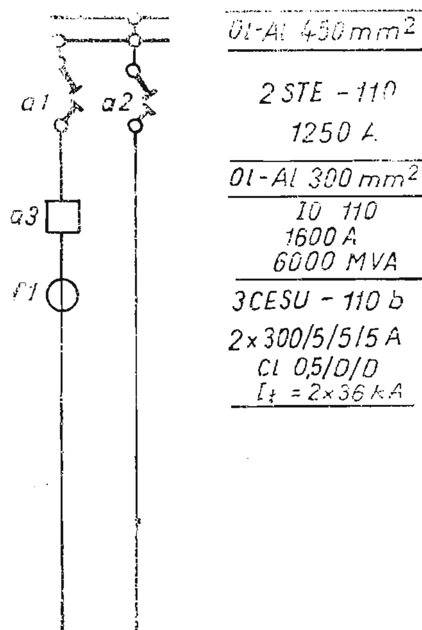
LINIE

Fig. 3.2. Schema circuitelor primare — celulă de linie



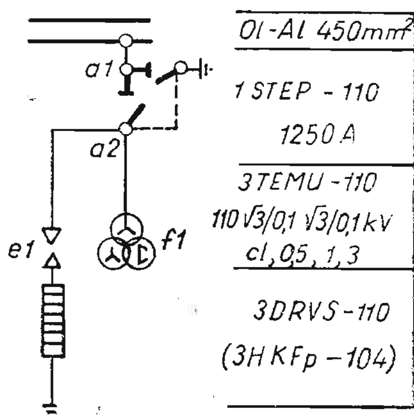
TRANSFORMATOR

Fig. 3.3. Schema circuitelor primare — celulă de transformare.



CUPLĂ

Fig. 3.4. Schema circuitelor primare — celulă de cuplă.



MĂSURĂ-DESCĂRCĂTOR 1

Fig. 3.5. Schema circuitelor primare — celulă de ăsură.

3.2.2. CIRCUITE SECUNDARE

Circuitele secundare realizează funcţiunile de comandă, control, protecţie şi automatizare în vederea funcţionării ireproşabile a circuitelor primare.

Comanda se referă în special la acţionarea voită şi blocajul operativ al separatoarelor şi întreruptoarelor. *Controlul* realizează măsurarea şi înregistrarea mărimilor electrice, precum şi semnalizarea regimurilor normale sau de avarii în funcţionarea staţiei. *Protecţia* se referă la acţionarea întreruptoarelor în regimuri de avarie, iar *automatizarea* la asigurarea continuităţii în alimentare şi a nivelului calitativ al energiei furnizate.

În tabelul 3.3 se indică aparatele de măsură pe diverse circuite [30], iar în paragraful 3.10 — protecţiile aferente circuitelor, precum şi diverse instalaţii de automatizare. Circuitele de comandă şi semnalizare sînt prezentate în capitolul 8.

Din punct de vedere constructiv se disting:

— circuite secundare complet centralizate într-una sau mai multe camere; soluţia este posibilă atunci cînd există personal de exploatare permanent;

— circuite secundare parţial descentralizate;

— circuite secundare descentralizate; soluţia se aplică la instalaţiile fără personal permanent.

Din punct de vedere al concepţiei de realizare a circuitelor secundare se disting:

— circuite individuale, unde fiecare circuit primar are propriile sale circuite secundare;

— circuite cu preselecţie sau cu alegere, în care se foloseşte un număr foarte redus de aparate de comandă şi măsură, care pot fi conectate după dorinţă în diversele puncte ale instalaţiei.

Detalii asupra circuitelor secundare se obţin din lucrările [21, 48].

3.2.3. SERVICII PROPRII

Prin *servicii proprii* se înţeleg dispozitivele şi instalaţiile care asigură funcţionarea normală a echipamentelor din staţiile electrice.

Serviciile proprii comportă următoarele forme de energie: curent alternativ (de regulă la joasă tensiune), curent continuu, aer comprimat şi ulei sub presiune.

Schema de servicii proprii cuprinde:

— *bara de alimentare normală* (de reţea) 380/220 V, alimentată prin două căi din reţeaua de joasă sau medie tensiune; la această bară se conectează circuitele consumatorilor secundari şi auxiliari;

— *bara de siguranţă* (asigurată) — 380/220 V, alimentată în mod normal de la o bară de reţea, iar în caz de avarie a acesteia, de la un grup Diesel cu pornire automată care permite realimentarea în circa 10 secunde; la această bară se conectează circuitele consumatorilor principali;

— *bara de curent continuu* 220 sau 110 V cu alimentarea normală de la unul sau două redresoare (sau grup convertizor rotativ) şi de la o baterie de acumulatoare; la avarie în sistemul de curent alternativ

Aparatele de măsurat minim necesare pe diverse circuite

Schema circuitului primar	Tensiune kV	Aparate necesare: Indicatoare	Aparate necesare: Înregistratoare	Aparate necesare: Contoare	Observații
	110-400	A W var	W-var	Wh varh Wh varh	*) Eventual pe 6-20 kV în loc de 35 kV
	35	A W*) var*)	W-var	W varh Wh varh	
	6-20	A		Wh varh Wh varh	
	110-400	A W var	W-var	Wh varh	*) Pe partea primară a transformatorului de servicii proprii
	6-24*)	A W var	W-var	Wh varh	
	6	A			
	6-24	A A A V W var A_E V_e	W-var	Wh varh	
	6	A		Wh	
	0,4	A A A V			
	35-400	A W var V	W-var	Wh varh Wh varh	*) Eventual lampă de semnalizare
	6-20	A		Wh Wh	
	0,4	A		Wh	
	220-400	A			
	6-110	A			
	0,4	A			
50, BT	110-400	A W var	W-var	Wh varh Wh varh	
Bare colectoare	110-400	V f*)	V*) f*)		*) Numai la centrale sau la stații importante
	6-35	V f*) V_a V_c V_a	V*) f*)		
	35		A		
M >40kW	0,4-6	A			

bateria preia întreaga sarcină; la această bară se conectează circuitele consumatorilor vitali.

Detalii asupra serviciilor proprii sînt date în [30].

3.2.4. INSTALAŢII AUXILIARE

Instalaţiile auxiliare cuprind: instalaţiile de curent continuu, instalaţiile de legare la pămînt, instalaţiile de ulei şi aer comprimat, instalaţiile de telecomunicaţii.

Instalaţiile de curent continuu se folosesc pentru alimentarea circuitelor secundare la tensiunile uzuale de 24, 48, 110 şi 220 V. Sursele de curent continuu sînt baterii de acumulatoare şi redresoare.

Instalaţiile de legare la pămînt realizează:

— protecţia împotriva electrocutării;

— trecerea în pămînt a curenţilor electrici ce apar în cazul legăturilor la pămînt de exploatare a unor instalaţiii aflate în mod normal sub tensiune (bobine de stingere, neutrul transformatoarelor etc.).

Instalaţiile de ulei şi aer comprimat se folosesc pentru acţionarea şi stingerea arcului întreruptoarelor şi separatoarelor. Alimentarea cu energie electrică a instalaţiilor de producere a aerului comprimat trebuie să fie asigurată pe două căi separate de la două secţii independente ale instalaţiei de servicii proprii.

Instalaţiile de telecomunicaţii cuprind: instalaţiile de telefonie generală (administrativă), instalaţiile de telefonie tehnologică (de dispecer), instalaţiile de interfon (comunicări operative, conferinţe), instalaţiile telegrafice sau telex, instalaţiile de ceasoficare (cunoaşterea orei exacte), instalaţiile de detectare şi semnalizare a incendiilor.

3.2.5. ALEGEREA NUMĂRULUI ŞI A PUTERII TRANSFORMATOARELOR

În staţiile de transformare se folosesc de obicei două sau trei transformatoare trifazate de putere cu două sau trei înfăşurări. Instalarea unui număr mai mare de trei transformatoare într-o staţie nu se justifică din punct de vedere economic.

În toate cazurile, în care staţiile alimentează întreprinderi industriale mari, sau zone cu mare consum de energie electrică, este necesar să se prevadă o rezervă corespunzătoare în transformatoare. În astfel de cazuri se vor monta cel puţin două transformatoare identice (unul avînd rolul de rezervă), cu condiţia ca puterea fiecăruia (ţinînd seama de suprasarcina admisibilă), să fie cel puţin egală cu sarcina totală a consumatorilor.

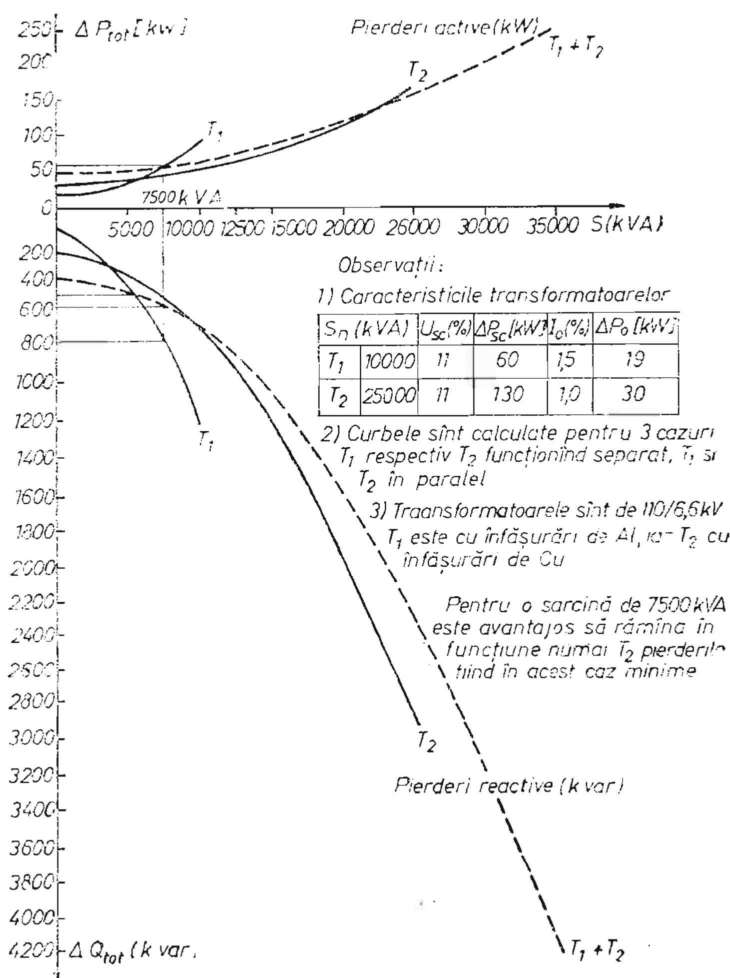
În cazul variantei cu trei transformatoare, două vor trebui să asigure alimentarea consumatorilor, iar cel de-al treilea va constitui rezerva. Alegerea uneia dintre cele două variante se face pe baza unui calcul tehnico-economic în care este necesar să se ţină seama de criteriul cheltuielilor minime de exploatare, respectiv al pierderilor anuale minime de energie.

Pentru reducerea curenţilor de scurtcircuit şi simplificarea protecţiei prin relee se recomandă ca, de cîte ori este posibil, să se prevadă funcţionarea separată a transformatoarelor.

3.2.6. FUNCŢIONAREA ECONOMICĂ A TRANSFORMATOARELOR

În staţiile sau posturile de transformare cu mai multe transformatoare nu este totdeauna economic ca toate transformatoarele să funcţioneze în paralel, precum nu este totdeauna indicat să lucreze unul singur, chiar dacă sarcina nu depăşeşte puterea sa nominală.

Regimul optim din punct de vedere economic este acela în care pierderile totale de putere sînt minime (fig. 3.6).



S_n (kVA)		U_{sc}(%)	ΔP_{sc} [kW]	I_0(%)	ΔP_0 [kW]
T_1	10000	11	60	1,5	19
T_2	25000	11	130	1,0	30

Fig. 3.6. Curbe de variaţie a pierderilor de putere în transformatoare în funcţie de sarcină.

3.3. INSTALAŢIA DE DISTRIBUŢIE

Reţelele de distribuţie în medie tensiune la posturile de transformare sau receptoarele de medie tensiune se realizează cu linii radiale sau linii principale.

Alegerea uneia dintre aceste două variante se face în funcţie de gradul dorit de asigurare a continuităţii alimentării, de amplasarea teritorială a sarcinilor principale şi pe baza comparării indicatorilor tehnico-economici ai variantelor propuse.

Liniile radiale alimentează separat fiecare receptor de înaltă tensiune sau post de transformare (tab. 3.4, pct. A). Avantajele schemelor cu linii radiale sînt :

— simplitatea din punct de vedere al execuţiei şi al exploatării ;
— siguranţa alimentării cu energie electrică în cazul avariilor ;
— posibilitatea automatizării şi comenzii centralizate.

Dezavantajele acestor scheme sînt :

— consumul ridicat de materiale neferoase ;
— investiţii importante la construirea reţelei.

Tabelul 3.4

Schemele reţelelor de distribuţie în medie tensiune [17]

Felul schemei	Domeniul de folosire şi caracteristicile schemei
1	2
	A. *Scheme radiale*
1. Radială, simplă (fără rezervă) ST, SD — PT	Pentru posturile de transformare cu o singură unitate, situate izolat şi în cazul cînd lipsesc sarcini importante de categoria *I* şi există posibilitatea reparării rapide a liniei defecte, cu condiţia ca sarcinile reduse de categoria *I* (pînă la 25%) să fie asigurate printr-o alimentare de joasă tensiune, de la un post vecin sau printr-un grup electrogen de intervenţie.
2. Radială, simplă cu două cabluri în paralel ST, SD — PT	Pentru consumatori nu prea mari, izolaţi, în cazul că nu există sarcini de categoria *I* : se foloseşte normal un singur cablu, iar al doilea se conectează cînd primul s-a deconectat pentru reparare sau încercare. Pot fi folosite cînd există sarcini reduse de categoria *I* (cel mult 25%), dacă continuitatea de alimentare a acestora este asigurată fie printr-un racord de joasă tensiune de la o reţea vecină, fie printr-un grup electrogen de intervenţie.
3. Cu două linii radiale (dublă) ST, SD — PT	Pentru puncte de alimentare speciale şi importante sau pentru obiective cu sarcini de categoria *I* şi *II* (posturi cu puterea peste 2 000—3 000 kVA, captoare electrice mari etc.), fiecare linie se calculează la întreaga sarcină a receptoarelor de categoria *I*. În mod normal, liniile funcţionează separat pe secţiile respective : la ieşirea din funcţiune a unei linii, cealaltă preia sarcina de categoria *I*.

1	2
4. Încrucişată cu cîte un singur întreruptor şi cîte o bobină de reactanţă comună pe cîte două linii	Este o variantă a schemei precedente pentru liniile de putere mijlocie; se reduce numărul de celule la punctul de alimentare. La post se prevede conectarea automată a rezervei pentru a preveni deficienţa schemei constînd în faptul că, la defectarea uneia dintre linii, se întrerupe şi alimentarea din a doua linie care nu este defectă.
5. Încrucişată cu alimentare din două puncte	Pentru posturi de transformare puternice (8 000—10 000 kVA). Fiecare linie de alimentare este calculată pentru 60% din sarcina postului.
6. Radială încrucişată cu rezervă radială de la al doilea punct	Pentru posturi de transformare de putere mică. Alimentarea normală se face de la sursa *I*. Sursa *II*, de putere redusă, neeconomică sau îndepărtată, serveşte pentru rezervă.
7. Radială cu rezervă de la linia principală	La deconectarea oricărei linii, postul se comută pe linia principală, care constituie rezerva comună indicată punctat.

1	2
8. Radială în două trepte cu puncte de distribuție intermediare PT1 PT2 PT3 PT4	Pentru obiective importante, în cazul unui număr mare de posturi de transformare cu unul sau două transformatoare de putere mică, amplasate dispersat.
9. Radială în două trepte cu puncte de distribuție puternice și cu sarcini cu șocuri 110/10kV ST PT 10kV 0,4kV Spre motoarele electrice Sarcina de șoc Substație de atelier	Pentru uzine metalurgice cu puncte de distribuție de putere mare; sarcinile (cu șocuri) se alimentează direct de la stația principală de transformare.
1. Linie principală simplă, fără separatoare la intrare.	**B.** *Scheme cu linii principale* Se folosește cu precădere la liniile principale aeriene sau la cele în cablu ușor accesibile pentru reparații (de exemplu, la cele pozate în canale). Se folosește pentru receptoare de mică importanță: electrificări rurale, depozite etc., în cazurile în care este admisibilă întreruperea alimentării cu energie pentru timpul necesar deconectării porțiunii defecte.

1	2
2. Linie principală simplă, cu rezervă printr-o linie principală comună PT	Pentru sarcini de categoria *II* şi *III*. Se admite întreruperea alimentării cu energie pentru timpul necesar detectării şi deconectării porţiunii defecte a liniei principale. La o singură linie principală se conectează pînă la cinci posturi de transformare cu puterea de cîte 1 000 kVA fiecare.
3. Linie principală simplă, cu alimentare din două părţi PT_1 PT_2	Se foloseşte în cazul cînd trebuie asigurată alimentarea în timpul avariei de la o sursă independentă. În regim normal de alimentare se foloseşte o singură sursă (cea principală).
4. Linie principală în buclă (inel) ST PT PT	Pentru sarcini de categoria *I* şi *II*. Se permite întreruperea alimentării cu energie pentru timpul necesar deconectării porţiunii defecte a buclei. La o buclă se leagă pînă la cinci posturi de transformare cu puterea pînă la 500 kVA fiecare. Bucla se întrerupe aproximativ la mijloc, în scopul simplificării protecţiei prin relee.
5. Linie principală dublă cu linii în paralel, cu intrare-ieşire şi cu automate pe partea de joasă tensiune a transformatoarelor ST PT	Pentru sarcini de categoria O la alimentarea de la posturi de transformare cu două transformatoare, fără bare ; schema asigură automat o rezervă de 100% în linii şi în transformatoare.
6. Linie principală dublă, cu alimentare din două părţi PT_1 PT	Se foloseşte : *a)* în cazul cînd, pentru asigurarea continuităţii în funcţionare, este nevoie de alimentarea de la două surse independente, a unor sarcini mari de categoria O ; *b)* în cazul amplasării unor grupe de receptoare între două puncte de alimentare, cînd alimentarea din două părţi prezintă avantaje economice în comparaţie cu alimentarea dintr-o singură parte, independent de condiţia cerută în privinţa continuităţii în alimentarea cu energie.

1	2
7. Schema cu racord adînc	Alimentarea postului de transformare sau a transformatoarelor izolate se face din linia principală de înaltă tensiune care intră pe teritoriul întreprinderii. Racordurile adînci de 110—220 kV se execută după schema bloc linie-transformator și se amplasează cît mai aproape posibil de cel mai mare consumator cu sarcină concentrată, prin amplasarea stației în imediata vecinătate a clădirii în care se găsesc secțiile principale. Folosirea racordurilor adînci elimină treapta intermediară de transformare și de distribuție a energiei electrice.

Liniile principale pot fi :

— *simple,* cu alimentare de la un capăt sau de la două capete ;

— *buclate multiple* cu două (duble) sau mai multe linii în paralel, în diverse variante (tab. 3.4, pct. **B**).

Schemele cu linii principale simple și buclate se folosesc, de obicei, pentu posturile de transformare de putere mică, cu receptoarele conectate direct și care nu necesită un grad mare de siguranță în alimentarea cu energie. La schemele cu linii principale, rezerva posturilor de transformare poate fi realizată mai comod și economic de la o altă sursă de alimentare, în cazul ieșirii din funcțiune a sursei principale.

Schemele de distribuție cu linie principală sînt utilizate pentru alimentarea consumatorilor din categoria *III* ; pentru consumatorii din categoria *I* și *II* se utilizează schemele cu linie principală buclată sau cu linie principală dublă (tab. 3.4).

Avantajele acestor scheme sînt :

— investiții mici la construirea rețelei ;

— posibilitatea de realizare cu conductoare din bare.

Dezavantajele sînt :

— dificultăți în utilizarea automatizării și telecomenzii ;

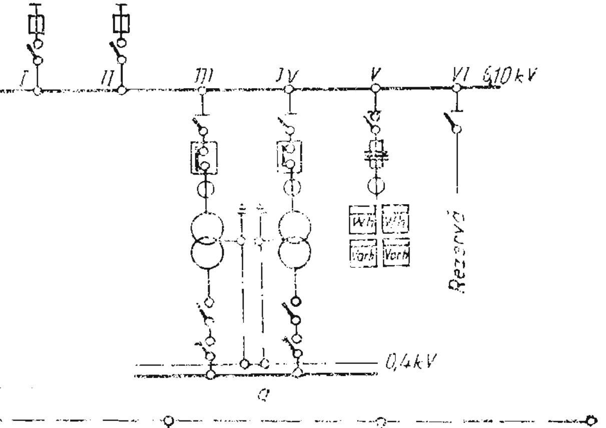
— siguranță mai redusă în funcționare.

3.4. POSTURI DE TRANSFORMARE

Sînt puncte de alimentare cu energie electrică la tensiunea de utilizare a utilajelor și receptoarelor — 380/220, 220/127, 500 și 1 000 V. Posturile de transformare reprezintă legătura dintre instalația de distribuție în medie tensiune și cea de joasă tensiune.

Fig. 3.7. Post de transformare în cabina metalică prefabricată:

a — schema electrică; *b* — realizarea constructivă; *I* — celulă de înaltă tensiune; *t* — celula transformatorului; *p* — tabloul de distribuţie de joasă tensiune tip sertar-bloc; R_p — centura de legare la pămînt de protecţie.



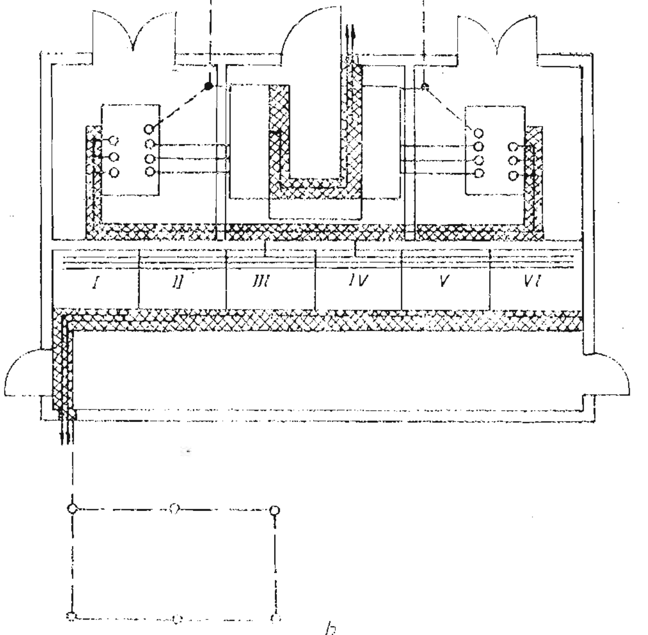


Fig. 3.8. Post de transformare subteran:

a — schema electrică; *b* — planul postului.

Din punct de vedere al amplasării, posturile de transformare se clasifică în:

— *posturi prefabricate* — (fig. 3.7) instalate în interiorul secţiilor întreprinderii, în centrele de greutate ale sarcinilor;

— *posturi integrate* în clădirile secţiilor;

— *posturi independente* de clădirile întreprinderii (fig. 3.8 şi 3.9).

Posturile prefabricate reprezintă o tendinţă actuală în alimentarea secţiilor unei întreprinderi datorită avantajelor pe care le au din punct de vedere tehnico-economic: eliminarea construcţiei de zidărie, montaj simplu şi rapid, reducerea lungimii reţelei de joasă tensiune prin instalarea în centrele de greutate ale sarcinilor.

Schemele de conexiuni ale unui post de transformare conţin:

— circuite primare (principale);

— circuite secundare.

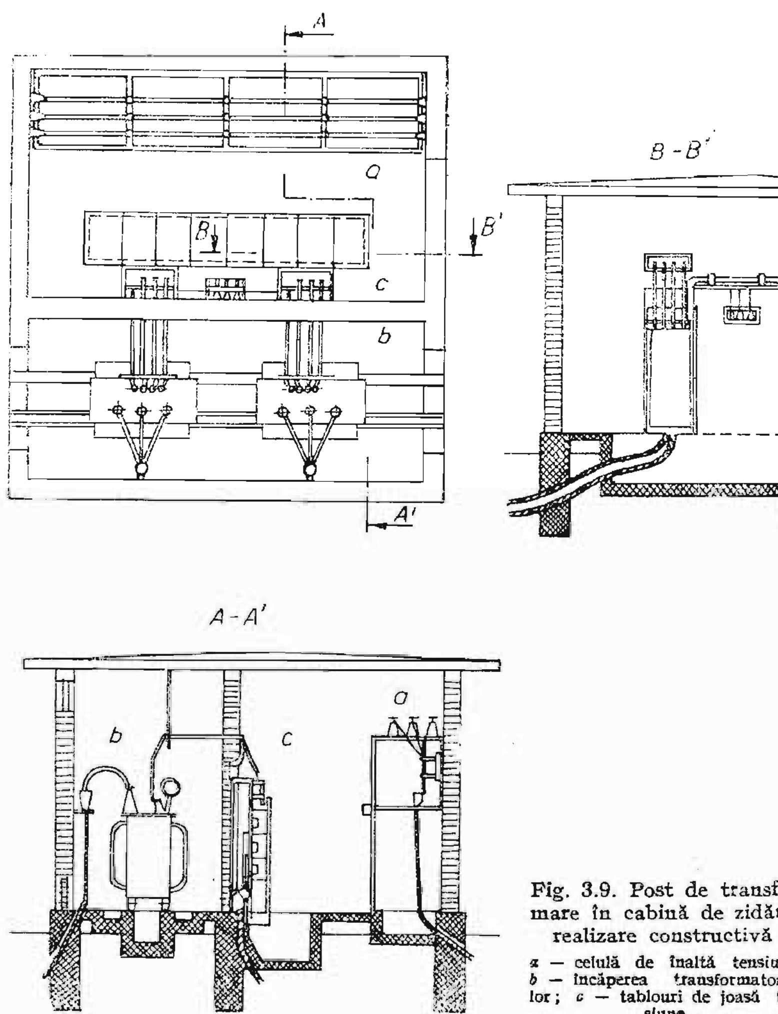


Fig. 3.9. Post de transformare în cabină de zidărie, realizare constructivă:
a — celulă de înaltă tensiune; *b* — încăperea transformatoarelor; *c* — tablouri de joasă tensiune.

3.4.1. SCHEMELE DE CONEXIUNI ALE CIRCUITELOR PRIMARE

Aceste scheme se compun din:

— *circuite de înaltă tensiune:* celule de linie (sosiri) și celule de transformator;

— *circuite de joasă tensiune:* tabloul de transformator și tablourile generale cu plecări la utilaje sau receptoare.

În cele ce urmează se va descrie echipamentul unui post de transformare (fig. 3.10) în care circuitele au fost prevăzute cu diferite variante de aparate.

a) Transformatoarele de putere *m*1, *m*2 (tip T.T.U), de 100—1 600 kVA, avînd de obicei conexiunea $Dy_0 - 5$, care permite un dezechilibru al sarcinii de aproximativ 30%; tensiunea nominală secundară este de

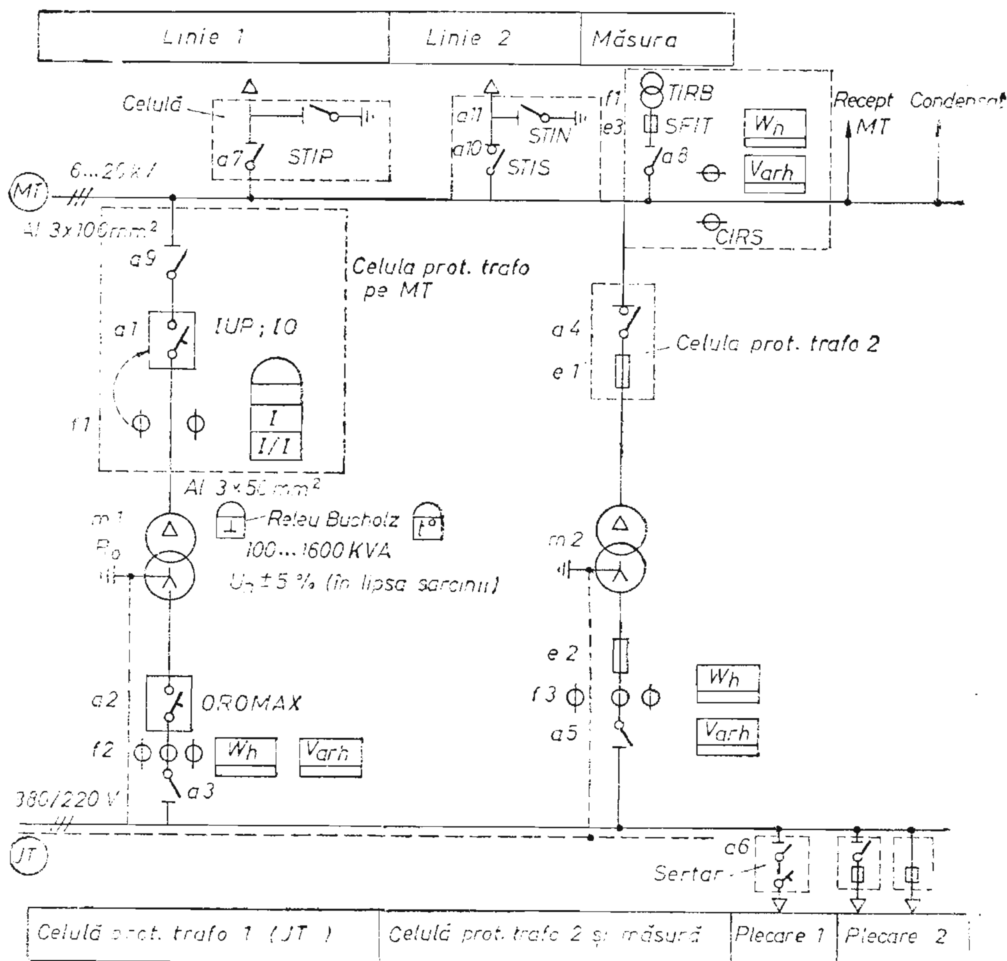


Fig. 3.10. Schema electrică a unui post de transformare în diferite variante de echipare a celulelor.

3 × 380/220 V cu posibilitate de reglaj pe înaltă tensiune de $\pm 5\%$ în lipsa sarcinii;

b) Separatoarele *a*7, *a*8, *a*9 (STI), permit o separare sigură și vizibilă a circuitelor față de bare, avînd rolul de a proteja personalul de exploatare; pentru a se evita manevrarea în prezența sarcinii, separatoarele se blochează mecanic sau electric în raport cu întreruptorul circuitelor respective.

Separatorul de sarcină *a*10 (STIS) are în plus și rolul de întreruptor pentru curenții nominali ai circuitului, avînd puterea de rupere maximă de circa 7 MVA; protecția împotriva curenților de scurtcircuit sau suprasarcină este realizată cu siguranțe fuzibile de înaltă tensiune, înseriate cu separatoarele de sarcină.

c) Întreruptorul *a*1 servește la conectarea și deconectarea manuală sau automată a circuitelor. Întreruptoarele de înaltă tensiune utilizate în posturile de transformare sînt:

— cu ulei puțin IUP, acționate prin dispozitive manuale DMI, electromagnetice DSI, cu aer comprimat DPI sau cu resoarte DRI;

— ortoejector IO, acționate prin dispozitivul cu servomotor și resorturi MR.

Puterile de rupere ale acestor întreruptoare sînt în limitele 100—500 MVA.

d) Siguranțele fuzibile de înaltă tensiune *e*1 (SFI), cu mare putere de rupere, pot înlocui întreruptorul în rețelele cu puteri de scurtcircuit pînă la 1 000 MVA.

e) Barele colectoare se execută din cupru sau aluminiu, de secțiune dreptunghiulară sau circulară, montate pe izolatoare tip suport.

f) Celulele prefabricate de înaltă tensiune pentru transformatoare și pentru linii conțin aparatajul aferent.

g) Tablourile de joasă tensiune, prevăzute cu separator, întreruptor automat sau siguranțe fuzibile la transformator și siguranțe fuzibile sau întreruptoare la plecările spre utilaje.

3.4.2. CIRCUITELE SECUNDARE

Circuitele secundare sînt:

— de comandă și interblocări;

— de protecție și automatizare (subcap. 3.10);

— de control, măsură (putere și energie — activă și reactivă), semnalizare (poziție întreruptor și separator, funcționarea protecției).

Principalele scheme sînt descrise în subcapitolul 3.10.

3.4.3. DIMENSIONAREA POSTURILOR DE TRANSFORMARE

Dimensionarea posturilor de transformare comportă parcurgerea a patru etape:

— alegerea numărului și a locului de amplasare a posturilor;

— determinarea puterii postului de transformare;

— determinarea numărului și a puterii transformatoarelor dintr-un post;

— asigurarea regimului economic de funcționare în paralel a transformatoarelor dintr-un post.

1. *Alegerea numărului și a locului de amplasare*

Pe planul de situație al întreprinderii sau secției se trec puterile aparente cerute S'_c sau S_c (subcap. 1.4) de diferite secții sau utilaje din secție; se determină centrele de greutate ale grupelor de sarcini ce urmează a fi alimentate de la același PT și se calculează puterea pe ansamblul acestor sarcini, avîndu-se în vedere ca puterea unui post să nu depășească circa 4 800 kVA.

Se marchează provizoriu locurile de amplasare ale tuturor posturilor de transformare, alegîndu-se un număr cît mai mic de tipuri de posturi avînd puteri egale; în [57] se prezintă o metodă de optimizare a amplasării geografice a posturilor.

2. *Determinarea puterii unui post*

Puterea postului se determină cu relația:

$$S_{PT} \geqslant S'_c, \quad (3.1)$$

în care S'_c este puterea aparentă cerută de consumatorii racordați la post — relația (1.20) — ținînd cont și de o eventuală compensare a puterii reactive printr-o baterie de condensatoare Q_{bc}

$$S'_c = \sqrt{P'^2_c + (Q'_c - Q_{bc})^2}. \quad (3.2)$$

Pentru a evita subîncărcarea transformatoarelor alese după puterea maximă cerută se va ține seama de suprasarcinile admise:

a) Suprasarcinile admise pe baza variațiilor zilnice ale sarcinii conform curbei de sarcină și stabilite prin regula celor trei procente — pentru fiecare 10 procente de reducere a coeficientului de utilizare K_{PM} (tab. 1.9) față de 100%, se admite o suprasarcină de 3% peste puterea nominală a transformatorului, pe durata supraîncărcării, adică:

$$\alpha_3 = 3 \cdot \frac{1 - K_{PM}}{10}. \quad (3.3)$$

b) Suprasarcinile admise pe baza variațiilor anuale ale sarcinii, reflectate de curba anuală de sarcină și stabilite prin regula celor p procente — pentru fiecare p procente de subîncărcare vara, raportată la puterea activă P_{PT} a postului de transformare, iarna se poate admite o suprasarcină de p procente, care să nu depășească însă 15%, adică:

$$\alpha_p = \frac{P_{PT} - P_{Mv}}{P_{PT}} \leqslant 0{,}15, \quad (3.4)$$

în care P_{Mv} este puterea maximă cerută de întreprindere în lunile de vară.

Capacitatea de suprasarcină totală, datorată neuniformităților curbelor de sarcină zilnică și anuală este:

$$\alpha = \alpha_3 + \alpha_p \quad (3.5)$$

și nu trebuie să depășească 20% pentru transformatoarele instalate în interior și 30% pentru transformatoarele montate în exterior.

Puterea activă nominală a transformatoarelor, P_{nT}, se alege în aceste condiţii astfel încît, ţinînd cont de suprasarcina totală admisă (α), să se asigure puterea maximă cerută de întreprindere iarna P_{Mi}

$$P_{PT} + \alpha P_{PT} \geqslant P_{Mi}, \tag{3.6}$$

sau

$$P_{PT} \geqslant P'_c \cdot \frac{1 + \frac{P_{Mv}}{P_{Mi}}}{2 + \frac{3}{10} \cdot (1 - K_{PM})}, \tag{3.7}$$

în care: $P'_c = P_{Mi}$ (relaţia 1.42);

$\frac{P_{Mv}}{P_{Mi}}$ şi K_{PM} sînt indicatori ai curbelor anuale, respectiv zilnice, de sarcină (par. 1.5.2).

Puterea aparentă nominală a postului este:

$$S_{PT} \geqslant \frac{P_{PT}}{\cos\varphi}, \tag{3.8}$$

cu $\cos\varphi$ — factorul de putere natural (necompensat) sau neutral (compensat) al consumatorilor racordaţi la post.

Observaţie. Relaţiile sînt stabilite pentru o temperatură maximă a mediului ambiant de 35 °C şi minimă de −25 °C, ceea ce impune ventilarea naturală sau forţată a posturilor de transformare.

3. *Alegerea numărului n_T de transformatoare din postul de transformare*

Numărul de transformatoare se determină pe baza asigurării continuităţii în alimentarea cu energie electrică a consumatorilor, care depinde de categoria acestora.

Pentru consumatorii de categoria 0, se asigură o rezervă în surse de 100% prin alegerea a 2 transformatoare în postul de transformare.

Pentru consumatorii de categoria *I*, se evidenţiază două situaţii:

a) dacă puterea consumatorilor de categoria *I* nu depăşeşte 50% din puterea postului, se recomandă alegerea a două transformatoare;

b) dacă puterea consumatorilor din categoria *I* depăşeşte 50% din puterea postului de transformare, se recomandă utilizarea a trei transformatoare de putere egală.

Pentru consumatorii din categoria *II* se recomandă alegerea a două transformatoare de putere egală.

Pentru consumatorii din categoria *III* se recomandă alegerea unui singur transformator.

4. *Determinarea puterii economice a unui transformator*

Puterea economică este stabilită pe baza minimului pierderilor totale de putere/energie (par. 3.2.6) în condiţiile utilizării eficiente a investiţiilor [50].

a. Pentru primul an de exploatare, prin proiectare, se calculează puterea teoretică optimă a transformatorului $S_{n\,optT}$, definită ca valoarea teoretică a puterii nominale cu care în condiţii de exploatare date s-ar putea

obține un minim al efortului de investiții cumulat cu totalul cheltuielilor actualizate datorate pierderilor

$$S_{n\,optT} = \frac{S_{PT}}{n_T \cdot K_{M1}}, \tag{3.9}$$

în care S_{PT} este puterea PT determinată anterior;
n_T — numărul de transformatoare din PT ales anterior;
K_{M1} — coeficientul de încărcare maximă în primul an de exploatare, egal cu 0,65 pentru posturi de distribuție urbană; pentru posturile industriale depinde de durata de utilizare a puterii maxime — tabelul 3.5.

Tabelul 3.5

Variația coeficientului K_{M1}

t_{PM} [ore/an]	4 000	5 000	6 000	7 000
K_{M1}	0,60	0,50	0,45	0,40

În funcție de $S_{n\,optT}$ determinat, se stabilește puterea nominală economică a transformatorului, S_{nT}, prin alegerea transformatorului cu puterea nominală cea mai apropiată de $S_{n\,optT}$.

b. După un an de exploatare, se înlocuiește transformatorul cu cel de putere imediat superioară, după atingerea coeficientului de încărcare maximă finală K_{Mf}; valorile lui K_{Mf} sînt date în tabelul 3.6 pentru posturi de transformare industrială, iar pentru posturi de distribuție urbană sau rurală $K_{Mf} = 1$.

Tabelul 3.6

Variația coeficientului K_{Mf}

t_{PM} [ore/an]	4 000	5 000	6 000	7 000
K_{Mf}	0,95	0,80	0,70	0,65

5. *Verificarea numărului și a puterii transformatoarelor din postul de transformare*

După ce s-a determinat puterea transformatoarelor cu relația (3.9), pe baza criteriului continuității în alimentarea cu energie electrică a consumatorilor, se verifică dacă cu puterile alese pentru transformatoare se asigură tranzitul de putere prin post, după cum urmează:

— pentru consumatorii de categoria 0, se asigură rezerva în surse de 100%, adică:

$$\begin{aligned} 2S_{nT} &\geqslant 2S_{PT}, \\ 2S_{cat.0} &\leqslant 2S_{nT}, \end{aligned} \tag{3.10}$$

în care: S_{nT} este puterea nominală aparentă a transformatorului ales;
$S_{cat.0}$ — puterea aparentă a consumatorilor de categoria 0.

— pentru consumatorii de categoria *I*, se evidențiază două situații :
a) dacă puterea consumatorilor de categoria *I* nu depășește 50% din puterea postului, se recomandă ca cele două transformatoare alese să aibă suma puterilor egală cu sarcina totală, puterea fiecăruia fiind cel puțin egală cu puterea consumatorilor de categoria *I* :

$$S_{nT} + S_{nT} \geqslant S_{PT}$$
$$S_{nT} \geqslant S_{I} \tag{3.11}$$

în care S_I este puterea aparentă a consumatorilor de categoria *I*.
b) dacă puterea consumatorilor de categoria *I* depășește 50% din puterea postului de transformare, se recomandă ca două din cele 3 transformatoare alese de putere egală să aibă suma puterilor egală cu sarcina totală a consumatorilor de categoria *I* :

$$S_{nT} + S_{nT} + S_{nT} \geqslant S_{PT}$$
$$S_{nT} + S_{nT} \geqslant S_{I} \tag{3.12}$$

c) la consumatorii de categoria *II*, cele două transformatoare de putere egală satisfac relația

$$S_{nT} + S_{nT} = S_{pT}\,; \tag{3.13}$$

d) pentru consumatorii de categoria *III*, se alege un transformator, care asigură puterea totală :

$$S_{nT} = S_{pT}. \tag{3.14}$$

3.5. CONDUCTE ȘI ECHIPAMENTE DE ÎNALTĂ TENSIUNE

Conductele și echipamentul electric utilizat în instalațiile electrice de înaltă tensiune se caracterizează printr-o mare diversitate, deosebindu-se din punct de vedere funcțional, constructiv și prin performanțele atinse.
Indicații concrete privind alegerea tipurilor constructive ale conductelor și echipamentelor pentru instalațiile electrice de înaltă tensiune sînt date în [5, 14, 21].

3.5.1 CONDUCTE ELECTRICE

Conductele electrice se clasifică din punct de vedere constructiv în conducte neizolate, denumite și *conductoare* și conducte izolate — *cabluri de energie.* Celelalte tipuri de conducte sînt descrise în subcapitolul 4.5.
1. *Conductele neizolate* se clasifică în :
— *conductoare flexibile,* sub formă de funii mono sau bimetalice ;
— *conductoare rigide* sub formă de bare cu secțiune dreptunghiulară, rotundă, tubulară sau de alt profil.
Conductoarele neizolate se folosesc în special la liniile electrice aeriene și la barele generale din *ST* și *PT*. După structura constructivă se disting următoarele tipuri :

— *conductoare monofilare*, compuse dintr-o singură sîrmă cu secțiune masivă, de formă circulară. Se construiesc numai din cupru sau oțel pentru secțiunile de 10 și 16 mm².

— *conductoare multifilare monometalice (funie)* din cupru, bronz, oțel, aluminiu și aliaje din aluminiu. Sînt formate din 7, 19, 37 sau 61 fire separate și torsadate între ele;

— *conductoare multifilare bimetalice*, compuse dintr-o inimă din metal cu calități mecanice ridicate și o manta din metal cu mare conductibilitate electrică;

— *conductoare inelare*, cu secțiunea sub formă de inel. Se utilizează la construcția LEA cu tensiuni mai mari de 220 kV, deoarece au un diametru mai mare decît conductoarele multifilare de secțiune echivalentă, fapt care contribuie la micșorarea sau chiar reducerea pierderilor prin efectul corona.

Pentru montarea conductoarelor neizolate se folosesc *izolatoare și accesorii*, [4]. *Izolatoarele* sînt elemente pentru fixarea și izolarea conductoarelor. Din punct de vedere constructiv, izolatoarele se clasifică în:

— izolatoare suport;
— izolatoare de suspensie;
— izolatoare de trecere.

Sînt confecționate din porțelan, sticlă sau steatit. Montarea conductoarelor, soluțiile alese, precum și accesoriile necesare sînt descrise pe larg în lucrarea [30].

În tabelele 3.7, 3.8, 3.9, 3.10, 3.11 sînt date caracteristicile conductoarelor neizolate din cupru, oțel, aluminiu aldrey, oțel-aluminiu.

2. *Cablurile de energie* se compun din următoarele elemente principale: conductoare izolate, substanță de umplutură între acestea, manta de etanșare și învelișurile exterioare.

Conductoarele se confecționează din cupru sau aluminiu. În ambele cazuri, conductoarele sînt formate din fire multiple torsadate (funie) în scopul realizării unei flexibilități convenabile a cablului. Profilul conductorului, circular sau în formă de sector, depinde de tipul și tensiunea nominală a cablului. Pentru cabluri cu tensiuni peste 35 kV se folosesc și alte profile, cum este mai ales cel sub formă tubulară.

Izolația uzuală a conductoarelor cablului este hîrtia impregnată cu ulei. În cazul montajului denivelat, această izolație prezintă dezavantajul scurgerii uleiului în părțile joase, din care cauză scade nivelul de izolație al cablului. Pentru evitarea acestui fenomen s-a recurs la fabricarea cablurilor cu izolație de cauciuc sau din diverși compuși ai acestuia; în prezent pentru izolația cablurilor pînă la 20 kV se folosesc și materiale plastice — policlorura de vinil (PCV) și polietilena (PE).

Mantaua de etanșare, din plumb sau PCV, protejează conductoarele izolate împotriva umidității.

Învelișurile exterioare protejează cablul împotriva coroziunii prin straturi de hîrtie sau iută impregnată cu o masă bituminoasă și a solicitărilor mecanice printr-o armătură metalică (1—2 straturi din bandă de oțel) acoperită cu straturi de iută impregnată.

Pentru îmbunătățirea condițiilor de funcționare electrică a cablurilor cu izolație de hîrtie, atunci cînd apare fenomenul de ionizare, la periferia izolației conductorului se aplică o folie semiconductoare din hîrtie metali-

Tabelul 3.7

Conductoare din cupru

Secțiunea conductorului [mm²]		Firele componente		Diametrul conductorului [mm]	Rezistența conductorului la 20 °C [Ω/km]	Curentul maxim admis $I_{C\,adm}$ [A]
nominală	reală	numărul	diametrul [mm]			
10	9,73	7	1,33	4,0	1,890	95
16	15,54	7	1,68	5,0	1,184	130
25	24,50	7	2,11	6,3	0,751	1,80
35	33,81	7	2,49	7,5	0,544	220
35	34,01	19	1,51	7,5	0,543	220
50	48,83	19	1,81	9,0	0,378	270
70	68,40	19	2,14	10,7	0,270	370
95	91,77	19	2,49	12,5	0,201	415
120	117,29	37	2,01	14,1	0,157	485
150	145,78	37	2,24	15,7	0,126	570
185	178,71	37	2,49	17,4	0,103	640
240	236,06	37	2,85	19,9	0,078	780
240	234,24	61	2,21	19,9	0,079	780
300	292,19	61	2,47	20,2	0,063	860
400	400,10	61	2,89	26,0	0,045	960
500	499,80	61	3,23	29,1	0,036	1110

Tabelul 3.8

Conductoare funie din oțel

Secțiunea conductorului [mm²]		Firele componente		Diametrul conductorului [mm]	Rezistența ohmică la 20 °C [Ω/km]		Curentul maxim admis $I_{C\,adm}$ [A]
nominală	reală	numărul	diametrul [mm]				
10	10,0	7	1,35	4,0	15,0	25,0	—
16	15,9	7	1,70	5,1	8,8	16,0	45
25	24,2	7	2,10	6,3	5,8	10,0	60
35	34,4	7	2,50	7,5	4,1	7,3	75
50	49,5	7	3,00	9,0	2,8	5,1	90
50	48,3	19	1,80	9,0	2,9	5,2	90
70	65,8	19	2,10	10,5	2,1	3,8	125
95	93,3	19	2,50	12,5	1,5	2,7	140
95	94,0	37	1,80	12,6	1,5	2,7	140
120	117,0	19	2,80	14,0	1,2	2,2	—
120	116,2	37	2,00	14,7	1,2	2,2	—
150	147,1	37	2,25	15,8	1,0	1,7	—
185	181,6	37	2,50	17,5	0,8	1,4	—

Tabelul 3.9

Conductoare din aluminiu

Secțiunea conductorului [mm²]		Firele componente		Diametrul conductorului [mm]	Rezistența ohmică la 20°C [Ω/km]	Curentul maxim admis $I_{C\ adm}$ [A]
nominală	reală	numărul	diametrul [mm]			
16	15,80	7	1,70	5,1	1,802	105
25	24,25	7	2,10	6,3	1,811	135
35	34,36	7	2,50	7,5	0,833	170
50	49,48	7	2,00	9,0	0,579	215
50	48,36	19	1,80	9,0	0,595	215
70	65,82	19	2,10	10,5	0,437	265
95	93,27	19	2,50	12,5	0,303	320
120	117,0	19	2,80	14,0	0,246	375
150	147,1	37	2,25	15,7	0,196	440
185	181,6	37	2,50	17,5	0,159	500
240	242,1	37	2,80	20,2	0,119	590
300	299,4	61	2,50	22,5	0,097	780
400	400,1	61	2,89	26,0	0,071	855
500	499,8	61	3,23	29,1	0,057	990
625	626,2	91	2,96	32,6	0,045	1140

Tabelul 3.10

Conductoare din aldrey

Secțiunea conductorului [mm²]		Firele componente		Diametrul conductorului [mm]	Rezistența ohmică la +20°C [Ω/km]	Curentul maxim admis $I_{C\ adm}$ [A]
nominală	reală	numărul	diametrul [mm]			
25	24,25	7	2,1	6,3	1,351	135
35	34,36	7	2,5	7,5	0,954	170
50	49,48	7	3	9,0	0,663	210
50	48,36	19	1,8	9,0	0,678	210
70	65,82	19	2,1	10,5	0,498	255
95	93,27	19	2,5	12,5	0,352	320
120	117,0	19	2,8	14,0	0,280	365
150	147,1	37	2,25	15,7	0,223	425
185	181,6	37	2,5	17,5	0,181	490
240	242,5	61	2,25	20,2	0,135	585
300	299,4	61	2,5	22,5	0,110	670
400	400,1	61	2,89	26,0	0,082	810
500	499,2	61	3,23	29,1	0,066	930
625	626,2	91	2,96	32,6	0,052	1075

Conductoare din oțel-aluminiu

Secțiunea conductorului [mm²]		Firele componente		Diametrul conductorului [mm]	Rezistența ohmică la 20°C [Ω/km]	Curentul maxim admis I_{D}^{adm} [A]
nominală	reală	numărul	diametrul [mm]			
Construcție normală						
16/2,5	15,3/2,55	1+6	1,80/1,81	5,40	1,880	100
25/4	23,9/4	1+6	2,25/2,25	6,80	1,202	125
35/6	34,3/57	1+6	2,70/2,70	8,10	0,830	160
50/8	48,3/8	1+6	2,30/3,20	9,60	0,594	205
70/12	66,2/11,6	7+26	1,45/1,80	11,6	0,437	260
95/15	90,0/15,0	7+26	1,65/2,10	13,4	0,321	325
120/21	122,5/20,90	7+26	1,95/2,45	15,7	0,236	360
150/25	148,9/25,4	7+26	2,15/2,70	17,3	0,193	420
185/32	183,8/31,7	7+26	2,40/3,00	19,2	0,157	485
240/40	236,0/40,1	7+26	2,70/3,40	21,7	0,122	575
300/50	294,9/49,5	7+26	3,00/3,80	24,2	0,098	665
400/75	395,2/75,5	19+28	2,25/4,24	28,2	0,074	820
450/75	445,1/75,50	19+63	2,25/3,0	29,25	0,066	900
680/85	678,6/85,9	19+54	2,4/4,0	36	0,043	1150
Construcție întărită						
95/55	96,5/56,30	7+30	3,20/3,20	16,00	0,300	315
120/28	119,4/27,8	7+30	2,25/2,25	15,75	0,242	360
150/36	153,3/35,7	7+30	2,55/2,55	17,85	0,189	420
185/43	184,8/43,1	7+30	2,80/2,80	19,60	0,156	485
240/56	241,2/56,6	7+30	3,20/3,20	22,40	0,120	575
300/69	305,4/69,0	19+30	2,15/3,60	25,15	0,096	665
400/85	395,6/85,9	19+30	2,40/4,10	28,40	0,078	820
450/87	449,0/86,9	19+68	2,55/2,90	30,20	0,065	900

zată (cupru sau aluminiu). Această soluție se numește ecranare, iar cablurile ecranate se mai numesc și cabluri metalizate.

Caracteristicile electrice ale cablurilor sînt: *tensiunea nominală*, care este valoarea efectivă a tensiunii între faze, în c.a. sau tensiunea între conductoare în c.c., pentru care s-a prevăzut izolația dintre conductoarele cablului; *intensitatea maxim admisă* în regim permanent a cablurilor, la o anumită temperatură a mediului ambiant — este sarcina maximă, în amperi, pe care o pot transporta conductoarele cablului, fără a depăși temperatura maximă admisă de lucru (tab. 3.12 și 3.13).

Tabelul 3.12

Intensitatea maxim admisă de durată, I_{Cadm} în amperi, pentru cabluri de joasă tensiune (pozarea în pămînt a unui singur cablu la 20°C)

Secțiunea conductorului [mm²]	Cabluri cu izolație de cauciuc și manta de plumb de 500 V				Cabluri cu izolație de hîrtie și manta de plumb de 1 kV				Cabluri monofazate de 1 kV în regim trifazat izolate cu hîrtie			
	2 cond.		3; 4 cond.		2 cond.		3; 4 cond		Manta de Pb		Manta de PCV	
	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al
1,5	27	—	21	—	30	—	25	—	—	—	—	—
2,5	37	—	32	—	40	—	35	—	—	—	—	—
4	56	41	45	40	50	40	45	35	—	—	—	—
6	72	52	55	46	65	50	60	45	—	—	—	—
10	94	75	81	69	90	70	80	65	—	—	—	—
16	120	94	105	88	120	95	110	90	140	115	140	115
25	160	125	130	112	155	125	135	110	180	145	180	145
35	195	150	160	139	186	150	165	130	220	175	220	220
50	260	200	220	185	235	190	200	160	270	215	215	215
70	320	250	280	230	280	225	245	195	325	260	310	250
95	450	—	—	—	335	270	295	235	390	310	370	295
120	530	—	—	—	380	305	340	270	445	355	425	340
150	—	—	—	—	435	350	390	310	500	400	475	380
185	—	—	—	—	490	390	445	355	550	440	495	395
240	—	—	—	—	570	455	515	410	625	500	565	450
300	—	—	—	—	640	510	590	470	695	555	590	465
400	—	—	—	—	760	610	700	56	785	630	—	—

Notă. Pentru alte condiții de pozare se vor aplica coeficienții de corecție indicați în par. 4.3.12.

Intensitatea maxim admisă în regim permanent I_{Cadm} în amperi pentru cabluri trifazate de MT (pozarea în pămînt a unui singur cablu, la 20°C)

Secţiunea conductorului [mm²]	Cabluri cu izolaţie de hîrtie şi manta de plumb						Cabluri cu izolaţie de hîrtie, cu trei mantale de plumb şi cu cîmp radial						Cabluri cu izolaţie şi manta de PCV			
	6 kV		10 kV		20 kV		6 kV		10 kV		20 kV		6 kV		10 kV	
	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al
6	55	45	—	—	—	—	60	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	75	60	65	50	—	—	80	65	70	55	—	—	—	—	—	—
16	100	80	85	70	—	—	110	85	95	75	—	—	—	—	—	—
25	130	105	110	90	105	85	145	115	125	100	115	90	130	105	—	—
35	160	130	135	110	125	100	180	145	150	120	140	110	160	130	135	110
50	195	155	165	130	150	120	220	175	190	150	170	135	195	155	165	130
70	235	190	200	160	185	150	150	265	210	185	210	170	235	190	200	160
95	280	225	240	190	225	180	310	250	270	315	245	295	280	225	240	190
120	325	260	280	225	260	210	365	290	310	250	285	230	325	260	280	225
150	370	295	320	255	300	240	415	330	350	280	325	260	370	295	320	255
185	420	335	360	290	340	270	465	370	395	315	365	390	420	335	—	—
240	490	390	420	340	400	320	535	430	460	370	425	340	—	—	—	—
300	360	445	475	385	—	—	610	490	520	415	480	385	—	—	—	—
400	—	—	—	—	—	—	710	560	600	450	550	440	—	—	—	—
500	—	—	—	—	—	—	790	630	690	540	615	490	—	—	—	—

Notă. Pentru alte condiţii de pozare se vor aplica coeficienţii de corecţie indicaţi în par. 4.3.12.

3.5.2. CARACTERISTICILE APARATELOR DE ÎNALTĂ TENSIUNE

Principalele caracteristici sînt: tensiunea nominală U_n, tensiunea maximă de serviciu la care poate funcţiona aparatul U_M, curentul nominal I_n, capacitatea de rupere nominală S_r sau I_r, capacitatea de conectare I_i, curentul limită termic I_{lt}, timpul propriu de deschidere t_{pd}, timpul total de deschidere t_{td}, timpul total de închidere t_i, caracteristica de protecţie (funcţionare), mediul pentru stingerea arcului electric, locul de montare.

După funcțiunea pe care o îndeplinesc, se deosebesc următoarele categorii:

— aparate de conectare (întreruptoare, separatoare, separatoare de sarcină);

— aparate de protecție (siguranțe fuzibile, bobine de reactanță și de stingere, descărcătoare);

— aparate de măsură (transformatoare de măsură).

O prezentare detaliată a aparatelor electrice de înaltă tensiune, fabricate în țară, este dată în lucrarea.

3.5.3. ÎNTRERUPTOARE

Întreruptorul este cel mai important aparat de comutație din circuitele primare. După principiul de stingere al arcului, întreruptoarele de înaltă tensiune pot fi cu: ulei mult, ulei puțin, aer comprimat, hexafluorură de sulf, suflaj magnetic, vid.

Întreruptoarele cu ulei mult — IUM sînt tot mai puțin folosite în prezent din cauza pericolului de explozie și incendiu. Au o construcție simplă și sigură și o comportare bună în exploatare. Vor fi totuși evitate pe cît posibil, rămînînd să fie folosite la posturi de transformatoare și la stații electrice de importanță redusă, de preferință numai în instalații exterioare.

Întreruptoarele cu ulei puțin — IUP sînt foarte răspîndite pînă la cele mai mari tensiuni și puteri de rupere. Au o construcție simplă și robustă, comportare bună în exploatare; revizia este ușoară și rapidă. Aceste întreruptoare sînt indicate pentru condițiile din țara noastră.

La noi în țară, întreprinderea Electroputere Craiova fabrică întreruptoare cu ulei puțin într-o gamă largă de tensiuni și puteri de rupere, în două serii unitare:

— întreruptoare cu ulei puțin de medie tensiune, de tipurile IO și IUP-M pentru tensiuni de 10, 15 și 20 kV (I — întreruptor; O — ortojector; U — ulei; P — puțin; M — modernizat) — tabelele 3.14, 3.15 și 3.16;

— întreruptoare cu ulei puțin de înaltă tensiune de tipurile IO și IUP pentru tensiuni de 35, 110, 220, și 400 kV — tabelele 3.17 și 3.18.

Întreruptoarele cu aer comprimat sînt de asemenea foarte răspîndite pînă la cele mai mari tensiuni și puteri de rupere. Au o construcție mai complicată și necesită în plus o instalație de aer comprimat de mare presiune. Pentru condițiile din țara noastră, pot fi folosite la puteri de rupere foarte mari sau în condiții de funcționare speciale.

Întreruptoarele cu hexafluorură de sulf se răspîndesc tot mai mult datorită calităților lor excepționale. Au o capacitate mărită de stingere a arcului și de refacere a rigidității dielectrice.

Întreruptoarele cu suflaj magnetic sînt simple, robuste și se comportă bine în exploatare; se fabrică în prezent pentru tensiuni medii. La curenți mici, efectul de sulfaj magnetic este insuficient pentru ruperea arcului din care cauză în aceste condiții se prevăd dispozitive suplimentare (suflaj cu aer).

Întreruptoarele cu vid sînt încă la începutul evoluției lor fiind deocamdată foarte puțin răspîndite. Vidul înaintat (10^{-4}... 10^{-5} torr) are o mare

Tabelul 3.14

Caracteristicile tehnice ale întreruptoarelor din seria IUP—M

Tipul întreruptorului / Caracteristicile întreruptorului	Tensiunea nominală a întreruptorului [kV]	Curentul nominal [A]	Curentul limită termic (1s) [kA]	Curentul limită dinamic [kA_{max}]	Puterea de rupere în MVA la anumite tensiuni de serviciu [kV]			Timpul total de închidere +15%; −5% [s]	Timpul total de deschidere %15%; −5% [s]	Masa uleiului [kg]	Masa întreruptorului [kg]				
											Fără mecanism de acționare	Cu mecanismul de acționare			
												MRI		DPI	DMI−5
					6	10	20					0	4		
IUP—M 10—630	10(12)	630	30	30	76,5	200	350	—	0,16	9	204	280	300	245	234
IUP—M 10—1 000	10(12)	1 000	30	76,5	200	350	—	0,16	0,07	9	214	290	310	255	244
IUP—M 20—630	20(24)	630	30	76,5	—	—	500	0,16	0,07	10	224	300	320	266	254
IUP—M 20—1 000	20(24)	1 000	30	76,5	—	—	500	500	0,16	10	234	310	330	276	264

Tabelul 3.15

Caracteristicile tehnice ale întreruptoarelor IO din seria ușoară

Nr. crt.	Tipul întreruptorului	Tensiunea nominală [kV]	Tensiunea maximă de serviciu [kV]	Curent nominal [kA]	Curent limită termic, la 1 s, [kA]	Curent limită dinamic [kA_{max}]	Puterea de rupere, în MVA, la tensiunea de serviciu, în kV				Timpul total de închidere [s]	Timpul total de deschidere [s]	Tipul mecanismului de acționare	Cantitatea de ulei pe fază [kg]	Greutatea totală a întreruptorului cu mecanism de acționare [da N]
							6	10	15	20					
1	IO—10—400	10	12	0,4	14,5	37	150	250	—	—	0,14	0,065	MR—2	2,4	180
2	IO—20—400	20	23	0,4	14,5	37	—	125	250	250	0,14	0,065	MR—2	2,4	210

Tabelul 3.16

Caracteristicile tehnice ale întreruptoarelor IO de medie tensiune din seria normală

Nr. crt.	Tipul întreruptorului	Tensiunea nominală [kV]	Tensiunea maximă de serviciu [kV]	Curent nominal [kA]	Curent limită termic la 1 s, în [kA]	Curent limită dinamic, [kA max]	Puterea de rupere în MVA, la tensiunea de serviciu, în kV: 6	10	15	20	Timp total de închidere [s]	Timp total de deschidere [s]	Tipul mecanismului de acționare	Conținutul de ulei pe fază [kg]	Greutatea întreruptorului cu mecanismul de acționare [daN]
1	IO–15–630	15	17,5	0,63	30	76,5	250	500	500	—	0,18	0,065	MR–2	7	250
2	IO–15–1250	15	17,5	1,25	30	76,5	250	500	500	—	0,18	0,07	MR–3	9	280
3	IO–15–200	15	17,5	2,5	30	250	500	500	500	—	0,18	0,07	MR–4	12	500
4	IO–20–630	20	24	0,63	30	76,5	—	500	500	500	0,18	0,065	MR–2	7	255
5	IO–20–1250	20	24	1,25	30	67,5	—	500	500	500	0,18	0,07	MR–3	9	285

Tabelul 3.17

Caracteristicile tehnice ale întreruptoarelor IUP de înaltă tensiune

Denumirea parametrului	Întreruptoare seria: IUP–35 (E1) *a*	IUP–35 *b*	IUP–110	IUP–110	IUP–110
1	2	3	4	5	6
Tensiunea nominală, kV	35	35	110	110	110
Tensiunea maximă de serviciu, kV	42	42	123	123	123
Tensiunea de încercare (50 Hz, uscat-ploaie) (valoarea efectivă), kV	85	85	230	230	230
Tensiunea de încercare (1,2/50 μs, uscat-ploaie) (valoarea de vîrf), kV	185 (200)	195	550	550	550
Curentul nominal, A	1 250	1 250	630	1 250	1 250
Curentul limită termic (valoarea efectivă), kA	35 la 1 s	35 la 1 s	6,6 la 10 s	20 la 4 s	20 la 4 s
Curentul limită dinamic (valoarea de vîrf), kA	75	75	33	50	50
Curentul de rupere simetric, kA	16,5	16,5	10	—	—
Puterea de rupere simetrică trifazată, în MVA la tensiune nominală și maximă de serviciu și în ciclul:	1 000 500(*D*–0, 3–*ID*)	1 000–D 700(*D*–0, 3*I*–*D*)	1 900 —	3 000 *D*–0,3–*ID*	3 000 *D*–0,3–*ID*
Timpul de închidere, s	0,16...0,22	0,13...0,20	0,20...0,25	0,16...0,22	0,16...0,22
Timpul de deschidere, s	0,16...0,22	0,04...0,06	0,16...0,22	0,07...0,09	0,07...0,09
Masa întreruptorului fără ulei, kg	1000(1040)	—	1400×3	1400×3	1100×3
Tipul dispozitivului de acționare	DPI-înglobat	1×MR–4	DPI-înglobat	DPI-înglobat	3×MR–4
Denumirea agentului de acționare	aer comprimat	arc	—	aer comprimat	arc

Tabelul 3.18

Caracteristicile tehnice ale întreruptoarelor IO de înaltă tensiune

Denumirea parametrului	Întreruptoare serie IO		
	IO–110	IO–220	IO–400
Tensiunea nominală [kV]	110(154)	220	400
Tensiunea maximă de serviciu [kV]	126(170)	245	420
Tensiunea de încercare (50 Hz, uscat-ploaie) (valoarea efectivă) [kV]	230	460	680
Tensiunea de încercare (1,2/50 μs, uscat-ploaie) (valoarea de vîrf) [kV]	550	1 550	1 550
Curentul nominal [A]	1 600	1 600	1 600
Curentul limită termică (valoarea efectivă) [kA]	31,5 la 5 s	31,5 la 4 s	30
Curentul limită dinamic (valoarea de vîrf) [kA_{max}]	80	80	80
Curentul de rupere simetric [kA]	31,5	31,5	31,5
Puterea de rupere simetrică trifazată [MVA] la tensiunea nominală și maximă de serviciu și în ciclul:	6 000 *D*–0,3–*ID*	12 000 *D*–0,3–*ID*	20 000 *D*–0,3–*ID*
Masa întreruptorului fără ulei [kg]	1605×3	4170×3	6650×3
Tipul dispozitivului de acționare	1(3)×MOP–1	3×MOP–1	3×MOP–1
Denumirea agentului de acționare	azot	azot	azot

rigiditate dielectrică, iar arcul electric se stinge de la sine în vid înainte de trecerea curentului prin zero.

Dispozitivele de acționare ale întreruptoarelor pot fi:

— cu acționare *unilaterală* cînd realizează numai închiderea întreruptorului, deschiderea acestuia făcîndu-se cu ajutorul unui resort de deschidere. Este cazul dispozitivelor de tipul MR, MRI, DRI, DSI etc, folosite la întreruptoarele cu ulei puțin (tip IUP) de medie tensiune;

— cu acționare *bilaterală*, cînd realizează atît închiderea, cît și deschiderea întreruptorului, fără să mai fie nevoie de resorturi pentru deschidere. Este cazul întreruptoarelor de înaltă tensiune care folosesc dispozitive de tipul MOP (IO — 110, 220, 400) sau înglobate în ele (IUP — 35) etc.

În funcție de energia folosită, dispozitivele de acționare pot fi cu resorturi (tipurile MR, DR), cu acționare pneumatică (tipul DPI), electromagnetice (tipul DSI), manuale (tipul DMI).

3.5.4. SEPARATOARE

Separatoarele sînt aparate de conectare care asigură pentru motive de securitate, în poziția deschis, o distanță de izolare vizibilă în cadrul circuitului electric din care fac parte.

Separatorul neavînd dispozitiv de stingere a arcului electric, nu se deschide sub sarcină; deschiderea separatorului trebuie să fie precedată de deconectarea întreruptorului corespunzător.

Se pot face mai multe clasificări ale separatoarelor, după cum urmează.

a) După locul în care se montează, separatoarele pot fi: de tip *interior* (la instalații interioare) sau de tip *exterior* (la instalații exterioare).

b) După numărul de poli: *monopolare, bipolare, tripolare.*

c) După modul de deplasare al contactelor mobile: separatoare *cuțit*, avînd un contact fix și un contact mobil tip cuțit; separatoare *rotative*,

avînd două contacte mobile; separatoarele *basculante*, la care contactul mobil basculează împreună cu un izolator suport în planul axelor izolatoarelor suport ale polului; separatoare *pantograf*, la care contactul mobil, de o construcție specială, execută o mișcare după direcția axei izolatorului suport.

d) După absența sau prezența dispozitivului de legare la pămînt există separatoare *cu* sau *fără cuțite de legare la pămînt*.

În tabelul 3.19 sînt date caracteristicile separatoarelor produse de Electroputere Craiova (S — separator; M — monopolar; T — tripolar; I — interior; E — exterior; P — cuțit de legare la pămînt).

Tabelul 3.19

Caracteristicile tehnice ale separatoarelor produse de Electroputere Craiova

Tipul aparatului	Tensiunea nominală [kV]	Curentul nominal [A]	Valoarea efectivă a curentului limită termic la 1 s [kA]	Valoarea de vîrf a curentului limită dinamic [kA]
1	2	3	4	5
Separatoare de interior				
SMI, STI, STIP	10	200 400 630 800	10 10 15 20	25 25 35 50
SMI, STI, STIP	(15) 20	200 400 630 800	10 10 10 20	25 25 25 25
SMI, STI, STIP	35	200 400 630 800	10 10 10 20	25 25 25 25
STI	3	1 250 2 000 3 150	30 50 50	75 125 125
SMI, STI,	10	1 250 2 000 3 150	30 50 50	75 125 125
STIP	10	1 250	30	75
SMI, STI,	15	1 250 2 000 3 150	30 40 50	75 100 125
STIP	15	1 250	30	75
SMI, STI, STIP	35	1 250	20	50
Separatoare de exterior				
STE	10	200 400	10 15	25 38
STE	20	400	10	25
SME, SMEP, SBE, SBEP, STE, STEP	35	1 250	30*	75
STE, STEP, SME, SMEP, SBE, SBEP	110	1 250 1 600	30 40	75 100
SME, SMEP	220	1 600	31,5*	80
SME, SMEP	400	1 600	40	100

* Valoarea pentru 4 s.

Sistemul de acționare: dispozitive de acționare manuală — cu prăjini (pînă la 75 kV inclusiv) sau cu pîrghie (tip AME și AMI); dispozitive pneumatice (tip AP); cu acționare electrică (tip ASE).

3.5.5. SEPARATOARE DE SARCINĂ (STIS)

Separatoarele de sarcină sînt aparate de conectare capabile să întrerupă curentul nominal al unui circuit și care în poziția deschis asigură o distanță minimă între contactul fix și cel mobil întocmai ca și separatoarele normale.

Se utilizează în următoarele scopuri:

— pentru conectarea și deconectarea bateriilor de condensatoare, pînă la puteri de circa 1 200 kvar și tensiuni de 20 kV;

— pentru înlocuirea întreruptorului în punctele rețelei unde puterea de scurtcircuit este redusă (sub 30 MVA);

— la conectarea și deconectarea liniilor în gol și a cablurilor în gol;

— ca aparat de conectare în rețelele buclate, avînd rolul de a închide sau deschide bucla la sarcina nominală.

Protecția instalației este asigurată prin siguranțe fuzibile de înaltă tensiune cu mare putere de rupere montate în serie cu separatorul de sarcină.

Separatorul de sarcină are ca element de bază separatorul propriu-zis, căruia i se adaugă un *cuțit de rupere* și o *cameră de stingere* din material gazogen, de formă plată sau cilindrică.

La noi în țară, Intreprinderea Electroputere fabrică separatoare de sarcină în două tipuri constructive: SPTI și STIS (S — separator; P — de putere; T — tripolar; I — de interior; S — de sarcină) — tabelele 3.20 și 3.21. Deosebirea între cele două tipuri de separatoare constă în faptul că separatorul de sarcină STIS asigură stingerea arcului electric datorită

Tabelul 3.20

Caracteristicile tehnice ale separatoarelor SPTI și SPTIp

Tensiunea nominală kV	Tensiunea de serviciu maxim admisă, kV	Tensiunea de încercare, kV				Curent nominal, A	Curentul de rupere pentru tensiunea nominală, A la cos φ		Puterea de rupere pentru tensiunea nominală, MVA la cos φ		Curentul de închidere, kA_{max}	Curentul limită termic de 1 s, kA_{ef}	Curentul limită dinamic, kA_{max}
		între contactele deschise ale aceluiași pol		față de pămînt și între poli									
		la 50 Hz	la impuls 1,2/50 Hz	la 50 Hz	la impuls 1,2/50μs		0,7	0,15	0,7	0,15			
10	12	45	85	35	75	400	800	600	13	10	20	15	38
20	24	75	145	55	125	400	800	300	27	10	20	15	38

Tabelul 3.21

Caracteristicile tehnice ale separatoarelor de sarcină STIS

Tipul	Curentul nominal [A]	Puterea de rupere la cos φ = 0,7 [MVA]	Valoarea efectivă a curentului de închidere pe scurtcircuit [kA]	Valoarea efectivă a curentului limită termic la 1 s [kA]	Valoarea de vîrf a curentului limită dinamic [kA]
STIS 10/400	400	7	10	10	25
STIS 20/200	400	7	10	10	25

presiunii gazelor degajate de materialul camerelor de stingere sub acțiunea arcului electric, în timp ce la separatorul de tip SPTI arcul electric este stins de jetul de aer dat de către un cilindru de autocompresie.

3.5.6. SIGURANȚE FUZIBILE DE ÎNALTĂ TENSIUNE

Siguranțele fuzibile sînt destinate protecției instalațiilor electrice împotriva scurtcircuitelor și a suprasarcinilor. Se utilizează pentru: protecția împotriva scurtcircuitelor a transformatoarelor de putere pînă la 1600 kVA, la tensiuni pînă la 35 kV; protecția transformatoarelor de tensiune, în general pînă la tensiuni de 35 kV; la protecția motoarelor de înaltă tensiune (în asociere cu contactoare de înaltă tensiune, care alimentează comutarea curentă); protecția circuitelor de alimentare (cu siguranțe montate la capătul amonte al circuitului, la capătul aval găsindu-se un aparat de comutare și protecție corespunzător consumatorului), pînă la tensiuni de 35 kV; protecția bateriilor de condensatoare împotriva scurtcircuitelor interne.

În tabelul 3.22 sînt date caracteristicile tehnice ale siguranțelor fuzibile de înaltă tensiune de tip interior, FI, FIT și exterior FE, FET (F — fuzibil; I — interior; E — exterior; T — pentru transformator de tensiune).

3.5.7. DESCĂRCĂTOARE

Descărcătoarele sînt aparate destinate să protejeze echipamentele electrice împotriva supratensiunilor atmosferice și de comutație. Ele se montează la bornele echipamentului, pe barele stațiilor, în posturile de transformare și pe linii.

Constructiv există următoarele tipuri de descărcătoare: descărcătoare cu rezistență variabilă (tip DRV, cu sau fără rezistențe de șuntare — tip DRSV sau DRV); descărcătoare tubulare cu fibră, numite și descărcătoare cu expulsie (tipul DTF); descărcătoare cu coarne (tip DCL) destinate pentru montarea pe LEA de medie și înaltă tensiune.

În tabelul 3.23 sînt date caracteristicile tehnice ale descărcătoarelor tip DRVS — 6 — 110.

Caracteristicile tehnice ale siguranțelor fuzibile de înaltă tensiune

Tipul siguranței		Curentul nominal al fuzibilului, I_{nf} [A]	Tensiunea [kV]		Puterea de rupere trifazată [MVA]	Curentul maxim de rupere la tensiunea nominală I_{rf} [kA]	Curentul maxim de rupere în [%] din I_{nf}
Suport	Port-fuzibil		nominală	maximă de serviciu			
1	2	3	4	5	6	7	8
		Siguranțe de interior de tip FI, FIT					
SFI–3	FI–3	2 35 7,5 10 15 20 30 40 50 75 100 150 200 300 400	3	3,4	200	40	
SFI–6	FI–6	2 35 7,5 10 15 20 30 40 50 75 100 150 200 300	6	6,9	200	20	—
SFI–10	FI–10	2 35 7,5 10 15 20 30 40 50 75 100 150 200	10	11,5	200	12	—
SFI–(15)–20	FI–15	2 35 7,5 10 15 20 30 40 50 75 100	15	17,5	200	7,7	—
SFI–35	FI–35	23 5 7,5 10 15 20 30 40	35	40,5	200	3,5	—
SFIT–3 SFIT–6 SFIT–10	FIT–3 FIT–6 FIT–10	—	3 6 10	3,4 6,9 11,5	500 1 000 1 000	100 85 50	—
		Siguranțe de exterior de tip FE și FET					
SFE–6	FE–62	2 3 5 7,5 10 15 20 30	6	6,9	28	200	20
SFE–(15)–20	FE–(15)–20	2 3 5 7,5 10 15 20 30	15	17,5	47	200	7,7
SFE–35	FE–35	2 3 5 7,5 10 15 20 30 40	35	40,5	80	200	3,5
SFET–35	FET–35	—	35	40,5	80	1 000	17

Caracteristicile tehnice ale descărcătoarelor tip DRVS – 6 – 110

Tipul descărcătorului	Tensiunea nominală [kV]	Tensiunea de serviciu admisă $U_{s\,adm}$ [kV]	Tensiunea de amorsare		Valoarea de vîrf a tensiunii reziduale, în kV la un curent de		Curentul de conductibilitate		Valoarea de vîrf a tensiunii de amorsare pe frontul undei	
			Valoarea efectivă la 50 Hz [kV]	Valoarea de vîrf la impuls 1,2/50 µs [kV]	5 000 A	80 A	Tensiunea aplicată în c.c. [kV]	Curentul de conductibilitate [µA]	Amplitudinea undei pline [kV]	Tensiunea maximă la care trebuie să amorseze [kV]
DRVS–6	6	7,6	16–18	30	30	10,7	6	400–600	62,6	36
DRVS–6 S	—	9	20–24	40	40	12,7	8	400–600	—	—
DRVS–10	10	12,8	26–30	47	47	18	10	400–600	107	56,5
DRVS–15	15	21	38–48	69	69	29,6	16	400–600	157	82,8
DRVS–20	20	25,5	48–60	84	84	36	20	400–600	202	101
DRVS–20 S	—	25,5	58–72	84	84	36	24	400–600	—	—
DRVS–25	25	30	58–72	99	99	42,3	Se aplică pe elemente componente		240	119
DRVS–35	35	42	76–96	138	138	59,2			332	166
DRVS–60	60	72	134–168	237	237	101,6			568	284
DRVS–110	110	102	232–288	336	336	114			806	403

3.5.8. BOBINE DE REACTANȚĂ (REACTOARE)

Bobinele de reactanță sînt destinate să limiteze valoarea curenților de scurtcircuit în circuitele electrice de mare putere și să asigure menținerea tensiunii la valori admisibile pentru a permite funcționarea echipamentelor electrice în regim de avarie.

Se construiesc de obicei fără miez de oțel, cu răcire în aer sau în ulei. Bobinele de reactanță se execută monofazat, bobinele celor trei faze montîndu-se atît vertical, cît și orizontal, în celule.

În funcție de materialul izolant folosit pentru rigidizarea bobinajului se deosebesc bobine: în beton, în lemn, în sticlă organică și în rășini.

Caracterizarea bobinei de reactanță se face cu ajutorul reactanței relative, care este o mărime adimensională și poate fi exprimată în procente:

$$X_{B\%} = \sqrt{3} \cdot \frac{I_{nB} X_B}{U_n} \cdot 100\%, \qquad (3.15)$$

în care: X este reactanța unei faze, în Ω;
U_n — tensiunea nominală, (de linie), în V;
I_{nB} — curentul nominal al bobinei, în A;
$I_{nB} \cdot X_B = U$ — căderea de tensiune pe bobină.

În țara noastră se construiesc bobine de reactanță în beton de tipul BR pentru tensiuni de 6,10 și 15 kV și curenți de 100 pînă la 2 × 2 000 A avînd reactanța relativă de 3%, 4%, 5%, 6%, 7%, 10%, 2 × 8%, 2 × 10%. (tab. 3.24).

Caracteristicile tehnice ale bobinelor de reactanță

Tabelul 3.24

Varianta constructivă Simbol	Număr specificație	Clasa de izolație [kV]	Tensiunea nominală [kV]	Curentul nominal [A]	Curentul de stabilitate termică [kA_{ef}]	Curentul de stabilitate dinamică [kA_{max}]	Reactanță %	Referințe pt. livrare montare și exploatare	
								I.E. nr.	Prospect nr.
BR6 kV/200 A—4%	5860900	7,2	6	200	5	9,16	4	29	În curs de redactare
BR6 kV/200 A—8%	5851100	7,2	6	200	2,5	4,58	8	29	
BR6,3 kV/200 A—4%	5851200		6,3	200	5	9,16	4	29	
BR 5,25 kV/300 A—5,5%	5851300		5,25	300	—	—	5,5	29	
BR6 kV/400 A—4%	5852600	7,2	6	400	10	25,4	4	29	
BR6 kV/400 A—12%	5852700	7,2	6	400	—	—	12	29	
BR6 kV/500 A—4%	5852800	7,2	6	500	12,5	31,75	4	29	
BR6 kV/500 A—10%	5852900	7,2	6	500	5	9,16	10	29	
BR6 kV/600 A—4%	5857200	7,2	6	600	15	38,1	4	29	
BR6 kV/600 A—5%	5857300	7,2	6	600	12	30,48	5	29	
BR6 kV/600 A—6%	5857400	7,2	6	600	10	25,4	6	29	
BR6 kV/600 A—10%	5857500	7,2	6	600	6	15,24	10	29	
BR6 kV/640 A—9%	5857600	7,2	6	640	—	—	9	29	
BR6 kV/750 A—5%	5860100	7,2	6	750	15	38,1	5	29	
BR6 kV/1000 A—4%	5862200	7,2	6	1000	25	45,8	4	29	
BR6 kV/100 A—5%	5862300	7,2	6	1000	20	50,8	5	29	
BR6 kV/1000 A—6%	5862400	7,2	6	1000	16,6	42,1	6	29	
BR6,3 kV/1000 A—8%	5862500		6,3	1000	12,5	37,75	8	29	
BR6 kV/1000 A—10%	5862600	7,2	6	1000	10	25,4	10	29	
BR6 kV/1500 A—8%	5866100	7,2	6	1500	18,75	47,62	8	29	
BR6 kV/1500 A—6%	5866200	7,2	6	1500	25	63	6	29	
BR6 kV/1500 A—10%	5866300	7,2	6	1500	15	38,1	10	29	
BR6 kV/2000 A—6%	5867600	7,2	6	2000	33,3	84,58	6	29	
BR6,3 kV/2000 A—10%	5867800		6,3	2000	20	50,8	10	29	
BR6 kV/2000 A + 2000 A—8%+8%	5867900				25	63	8+8	29	
BR6 kV/2000 A—8%	586800	7,2	6	2000	25	63	8	29	
BR10 kV/200 A—3%	5870200	12	10	200	6,66	17	3	29	
BR10 kV/400 A—4%	5873100	12	10	400	10	25,4	4	29	
BR10 kV/400 A—5%	5873300	12	10	400	8	20,32	5	29	
BR10 kV/400 A—6%	5873500	12	10	400	6,66	17	6	29	
BR10 kV/400 A—8%	5873600	12	10	400	5	12,7	8	29	
BR10 kV/400 A—10%	5873700	12	10	400	4	10,16	10	29	
BR10 kV/600 A—4%	5876300	12	10	600	15	38	4	29	
BR10,5 kV/600 A—6%	5876500	12	10,5	600	10	25,4	6	29	
BR10 kV/600 A—8%	5876600	12	10	600	7,5	17	3	29	
BR10 kV/1000 A—4%	5880100	12	10	1000	25	63	4	29	
BR10 kV/1000 A—6%	5880200	12	10	1000	16,6	42,16	6	29	
BR10 kV/1000 A—8%	5880300	12	10	1000	12,5	31,75	8	29	
BR10 kV/1000 A—10%	5880400	12	10	1000	10	25,4	10	29	

3.5.9. BOBINE DE STINGERE

Bobinele de stingere sînt aparate electrice de curent alternativ care furnizează curenții inductivi necesari stingerii (anulării) curenților capacitivi la locul de defect, în cazul punerii la pămînt a unei faze în rețelele de medie tensiune funcționînd cu neutrul izolat. Ele se leagă direct la neutrul transformatoarelor, prin intermediul unui separator, în situația în care înfășurarea transformatorului are neutrul accesibil sau la neutrul unui transformator auxiliar, montat special pentru crearea acestei posibilități, denumit transformator de creare a nulului.

Bobinele de stingere se montează în rețelele electrice la care curenții capacitivi depășesc 10 A, [64].

În funcție de sistemul de reglaj al inducției se deosebesc următoarele tipuri de bobine de stingere: cu ploturi reglabile (bobine Peterson); cu miezuri reglabile (reglaj continuu); cu magnetizare suplimentară în curent continuu.

În țara noastră se execută primele două tipuri și anume: BS — 6,6/3,8—200 kVA și BS — 6,3/3,6—370 kVA, pentru rețelele de 6 kV, precum și BS — RC $20/\sqrt{3}$—600 kVA, pentru rețelele de 15 ÷ 20 kV.

3.5.10. TRANSFORMATOARE DE MĂSURĂ

Transformatoarele de măsură sînt aparate electromagnetice care transformă valorile curentului și tensiunii la valori convenabile pentru alimentarea aparatelor de măsură, de protecție și de reglare — 100 sau 110 V, respectiv 5 sau 1 A.

Transformatoarele de măsură se clasifică după mai multe criterii.

1. În funcție de parametrul a cărui valoare o reduc, există:

— *transformatoare de curent* (TC) a căror înfășurare primară se conectează în serie cu circuitul primar, iar bobinajul secundar alimentează releele de curent, ampermetrele, bobinele de curent ale wattmetrelor, contoarelor, fazmetrelor etc.; curentul nominal primar I_{1n} poate fi 5, 10, 15, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 600, 750, 1 000, 1 500, 2 000, 3 000, 4 000 sau 5 000 A; curentul nominal secundar I_{2n} este de 5 A, iar puterile nominale secundare P_{2n} sînt de 5, 10, 15, 30, 60, 90 VA;

— *transformatoare de tensiune* (TT) a căror înfășurare primară se conectează în paralel cu circuitul primar, iar înfășurarea secundară alimentează releele de tensiune, voltmetrele, bobinele de tensiune ale wattmetrelor, contoarelor, fazmetrelor etc.; tensiunea nominală primară este egală cu tensiunile normalizate la noi în țară, iar tensiunea nominală secundară este egală cu 100 sau $100/\sqrt{3}$ V; puterile nominale secundare sînt de 10, 15, 30, 60, 90, 120, 180, 240, 300, 480, 600, 900 sau 1 000 VA.

2. După numărul înfășurărilor secundare:

— cu o singură înfășurare secundară;

— cu două sau mai multe înfășurări secundare;

3. După felul instalației în care se pot monta:

— transformatoare de tip interior — simbol I;

— transformatoare de tip exterior — simbol E.

4. După modul în care se montează:

— transformatoare de trecere, simbol T (numai pentru cele de curent);
— transformatoare tip suport, simbol S.

5. După felul izolației dintre înfășurări:

— transformatoare cu aer sau uscate;
— transformatoare cu izolație în ulei, simbol U;
— transformatoare cu izolație de porțelan, simbol P;
— transformatoare cu izolație de rășini sintetice turnate, simbol R.

În tabelele 3.25 și 3.26 sînt date caracteristicile transformatoarelor de măsură. Transformatoarele de tensiune pot fi monofazate (M), bifazate (B) sau trifazate (T).

3.6. CALCULUL ELECTRIC AL INSTALAȚIILOR DE ÎNALTĂ TENSIUNE

În cadrul acestui paragraf se vor indica formulele de calcul ale parametrilor schemelor electrice echivalente ale instalațiilor de înaltă tensiune, necesare calculului pierderilor de putere, energie și tensiune, precum și calculul curenților de scurtcircuit. În cele ce urmează se vor explicita aceste noțiuni prezentate centralizat în tabelul 3.27.

3.6.1. PARAMETRII ELECTRICI AI TRANSFORMATOARELOR ȘI AUTOTRANSFORMATOARELOR

Transformatoarele și autotransformatoarele sînt componentele principale ale stațiilor și posturilor de transformare.

Mărimile și parametrii caracteristici ai unui transformator sînt:

— puterea nominală aparentă, S_n;
— tensiunile nominale U_n de linie, de înaltă (IT) și joasă tensiune (JT) și posibilitățile de reglaj;
— raportul de transformare, K_{12};
— parametrii electrici (rezistența, reactanța, conductanța, susceptanța și impendanța);
— tensiunile relative de scurtcircuit (U_{sc} în procente) și curentul de mers în gol (I_0 în procente);
— pierderile active nominale la mersul în gol (ΔP_0) și în scurtcircuit (ΔP_{sc});
— conexiunile înfășurărilor și numerele lor caracteristice.

Pentru transformatoarele trifazate de putere se folosesc trei conexiuni de bază: stea (Y sau y), triunghi (D sau d) și zig-zag (z) cu neutrul accesibil (N sau n) sau inaccesibil. Numărul caracteristic al conexiunii reprezintă multiplul de 30°C cu care fazorul joasei tensiuni de linie este defazat față de fazorul tensiunii înalte al bornei de același nume.

În R.S. România grupele de conexiuni sînt reglementate prin STAS 1703-67.

Tabelul 3.25

Caracteristicile tehnice ale transformatoarelor de curent fabricate de Intreprinderea Electroputere Craiova

Denumirea transformatorului de curent	Tipul	Caracteristicile tehnice principale								Observații
		Raportul de transformare I_{1n}/I_{2n}	U_n [kV]	U_i [kV]	I_{lt} [kA]	I_{ld} [kA]	Clasa de precizie	P_{2n} [VA]	n	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Transformator de curent tip trecere, cu izolație din bachelită, pentru montaj interior	CIT-0,5 t	100—250/5	0,5	3	$I_t = 60\ I_{1n}$	—	1	5	<10	Execuție monospirală
Transformator de curent tip șină, cu izolație din bachelită, pentru montaj interior	CIT-0,5 t	300—3000/5	0,5	3	$I_t = 60\ I_{1n}$	—	0,5 1	10 15 30	< 5 <10	Primarul transformatorului este chiar bara instalației
Transformator de curent tip suport, cu izolație din capace de bachelită, pentru montaj interior	CIS-0,5 t	5—300/5	0,5	3	$I_t = 60\ I_{1n}$	$I_t = 150\ I_{1n}$	0,5	10	< 5	
Idem, cu izolație din rășină turnată pentru montaj interior	CIRS-0,5 t	5—300/5	0,5	3	$I_t = 60\ I_{1n}$	$I_t = 150\ I_{1n}$	0,5	10	< 5	Pentru condiții grele de mediu (climat tropical umed, maritim etc.)
Idem, tip trecere, cu izolație din rășină turnată, pentru montaj interior	CIRT-0,5 t	100—250/5	0,5	3	$I_t = 50\ I_{1n}$	—	1	5	<10	Idem, monospiral
Idem, de trecere, tip șină, pentru interior, cu izolație de rășină turnată	CIRT-0,5 t	300—3000/5	0,5	3	$I_t = 60\ I_{1n}$	—	0,5	10	< 5	Idem. Bobinajul primar este format din însăși bara instalației
Transformator de curent cu izolație de porțelan, tip trecere, pentru montaj interior	CIPT-10;15	5—400/5	10 15	42 55	$I_t = 90\ I_{1n}$	$I_t = 250\ I_{1n}$	$\frac{0,5}{3}$ $\frac{0,5}{D}$	15/30 15/15	$\frac{<10}{< 5}$ $\frac{<10}{<10}$	Înfășurarea primară multispirală

Tabelul 3.25 (continuare)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Transformator de curent tip trecere, monospiral, cu izolație de porțelan, pentru montaj interior	CIPT 1 – 10; 15 15	600 – 1500/5	10 15 15	42 55 55	$I_t = 100\ I_{1n}$	—	0,5/D 1/3 0,5/3	20/50 20/20	>20/<10 >15/<10	
Idem	CIPT-10 b	400 – 1000/5	10	35	$I_t = 100\ I_{1n}$	—	0,5/D 1/3	15/30 30/60	<10/>10 <10/> 5	
Transformator de curent de trecere, tip șină, cu izolație de porțelan, pentru montaj interior	CIPT-10 c	2000 – – 5000/5	10	42	$I_t = 100 I_{1n}$	—	0,5/0,5 0,5/3 D/D D/0,5	30/15 30/30	>20/<10 >20/<10	
Transformator de curent, cu izolație de porțelan, tip suport, pentru montaj interior	CIPS-10	15 – 800/5 2(15 – 400)/5	10	42	$I_t = 100\ I_{1n}$	$I_d = 250\ I_{1n}$	0,5/3 3	15/30 30/30 30	<10/>10 <10/> 5	

Transformator de curent tip suport, pentru montaj interior, cu izolație din rășină turnată	CIRS-10 a	15—600/5	10	42	$I_t = 100\ I_{1n}$	$I_d = 250\ I_{1n}$	0,5/D 0,5/3 1/D 1/8	15/30 30/30	<10/>5 <10/<10	
Idem, de 35 kV	CIRS-6; 10; 20; 35	2(5—400)/5/5	6 10 20 35	27 35 55 85	$I_t = 100\ I_{1n}$	$I_d = 250\ I_{1n}$	0,5/3 1/3 0,5/1 0,2/1	15/30 30/30 30/60	< 5/<10 <10/<5	
Transformator de curent tip suport, cu izolația din ulei, pentru montaj exterior	CESU-35	5—1 000/5	35	85 (95)	$I_t = 100\ I_{1n}$	$I_d = 250\ I_{1n}$	0,5/3 0,5/D D/D	50/50 30/40 60/60	<20/>5 <15/<15 <10/<5	
Idem	CESU-110b	2(50—300) 5/5/5	110	230 (260)	$I_t = 120\ I_{1n}$	$I_d = 350\ I_{1n}$	0,5/ D/3 D/D/3 0,5/ D/D	30/30/60 30/30/30	<10/>15/<5 <15/>15/<5	

Tabelul 3.25 (continuare)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Transformator de curent cu saturație rapidă, pentru alimentarea bobinelor de declanșare	CIS-1	4–5/3,5	1	3	$I_{max\ durată} = 9,5$ A $I_{2\ max} = 8$ A					Bobinele de declanșare ale dispozitivelor de acționare a întreruptoarelor folosesc curent alternativ
Transformator de curent homopolar (se introduce pe cablu)	CIH-75	$I = 10$ A	0,5	2	0,2					Pentru protecția contra punerilor la pămînt

Tabelul 3.26

Caracteristicile tehnice ale transformatoarelor de tensiune fabricate de Uzinele Electroputere Craiova

Denumirea transformatorului de tensiune	Tipul	Caracteristici tehnice principale ale variantelor fabricate						
		Raportul de transformare [kV/kV]	Tensiunea maximă de lucru [kV]	Tensiunea de încercare [kV]	Puterea nominală P_{2n}, [VA]			Puterea maximă [VA]
					Clasa 0,5	Clasa 1	Clasa 3(*D*)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Transformator de tensiune monofazat, pentru montaj interior, cu izolația din rășini de turnare	TIRM–0,5	0,38/01 0,4 /0,1 0,5 /0,1	0,46 0,48 0,60	3 3 3	15 30 30	30 60 60	60 90 90	120 180 180

Transformator de tensiune monofazat, pentru montaj interior, cu izolația din rășini de turnare	TIRM—6	$\frac{5}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	$6/\sqrt{3}$	27	60	120	240	480
	TIRM—10	$\frac{6}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	$7,2/\sqrt{3}$	27	60	120	240	480
	TIRM—15	$\frac{10}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	$12/\sqrt{3}$	35	60	120	240	480
		$\frac{15}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	$17,5/\sqrt{3}$	45	90	180	300	600
Transformator de tensiune bifazat, pentru montaj interior, cu izolație din ulei	TIBU—6	3/0,1	3,6		30	50	120	240
		5/0,1	6,0		50	80	200	400
		6/0,1	7,2	27	50	80	200	400
	TIBU—10	10/0,1	12,0	35	80	150	320	640
	TIBU—15	15/0,1	17,5	45	80	150	320	640
Transformator de tensiune bifazat, pentru montaj interior, cu izolație din rășini de turnare	TIRB—6	5/0,1	6,0		60	120	240	480
		6/0,1	7,2	27	60	120	240	480
	TIRB—10	1010,1	12,0	35	90	180	300	600
	TIRB—15	15/0,1	17,5	45	90	180	300	600
Transformator de tensiune trifazat, pentru montaj interior, cu izolația din ulei (cu cinci coloane). Punct pentru izolat la masă pentru tensiunea de 2 kV	TITU—6 TITU—10 TITU—15	$\frac{3}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	$3,6/\sqrt{3}$		50	80	200	400
		$\frac{5}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	$6/\sqrt{3}$		80	150	320	640
		$\frac{6}{\sqrt{5}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	$7,2/\sqrt{3}$	27	80	150	320	640
		$\frac{10}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	$12/\sqrt{3}$	35	120	200	480	960
		$\frac{15}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	$17,5/\sqrt{3}$	45	120	200	480	960

Tabelul 3.26 (continuare)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Transformator de tensiune monofazat, pentru montaj interior, cu izolația din rășini de turnare	TIRM–20	$\frac{20}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	$24/\sqrt{3}$	55	120	240	480	960
	TIRM–25	$\frac{25}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	$30/\sqrt{3}$	65	120	240	480	960
	TIRM–35	$\frac{35}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	$42/\sqrt{3}$	85	120	240	480	960
Transformator de tensiune bifazat, pentru montaj interior, cu izolație din rășini de turnare	TIRM–20 TIRB–25 TIRB–35	20/0,1 25/0,1 35/0,1	24 30 42	55 65 85	120 120 120	240 240 240	480 480 480	960 960 960
Transformator de tensiune monofazat, pentru montaj exterior, cu izolație din ulei.	TEMU–20	$\frac{20}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	$24/\sqrt{3}$	55	90	180	300	900
	TEMU–25	$\frac{25}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	$30/\sqrt{3}$	65	90	180	300	600
	TEMU–35	$\frac{35}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	$42/\sqrt{3}$	85	90	180	300	600
Transformator de tensiune bifazat, pentru montaj exterior, cu izolația din ulei (de tip inductiv)	TEBU–20 TEBU–25 TEBU–35	20/0,1 25/0,1 35/0,1	24 30 42	55 65 85	90 90 90	180 180 180	300 300 300	600 600 600
Transformator de tensiune monofazat, cu izolația din ulei, pentru montaj exterior (tip inductiv cu un singur circuit magnetic)	TEMU–110	$\frac{110}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / 0,1$	$123/\sqrt{3}$	185	300	600	900	1800

Tabelul 3.27

Formule de calcul simplificate pentru determinarea parametrilor electrici și a pierderilor de putere în instalațiile electrice

Nr. crt.	Elementele	Schema electrică de principiu	Schema electrică echivalentă	Parametrii electrici ai schemei electrice	Pierderile de putere și aportul capacitiv	Puterea la capătul de intrare	
						P_1[kV]	Q_1[kVar]
0	1	2	3	4	5	6	7
1	Linie electrică aeriană	1 s, l, n 2 U_n P_2 $\cos\varphi$	1 $R_l X_l$ 2 P_2 $\cos\varphi$	$R_l = \frac{l}{n} \cdot R_0$ $X_l = \frac{l}{n} \cdot 0{,}4$ R_0, din tabele în funcție de s n, număr linii în paralel	$\Delta P = \frac{10^{-3} \cdot P_2^2}{U_n^2 \cdot \cos^2\varphi} \cdot R_l$ $\Delta Q = \frac{10^{-3} \cdot P_2^2}{U_n^2 \cdot \cos^2\varphi} \cdot X_l$	$P_1 = P_2 + \Delta P$	$Q_1 = Q_2 + \Delta Q$
2	Linie electrică în cablu (subterană)	1 s, l, n 2 P_2 $\cos\varphi$	1 R_c, X_c 2 Q_c P_2 $\cos\varphi$	$R_c = \frac{l}{n} \cdot R_0$ $X_c = \frac{l}{n} \cdot 0{,}08$ $Y_c = nlY_0$ R_0, Y_0 din tabele în funcție de s	$\Delta P = \frac{10^{-3} \cdot P_2^2}{U_n^2 \cdot \cos^2\varphi_2} \cdot R_C$ $\Delta Q = \frac{10^{-3} \cdot P_2^2}{U_n^2 \cdot \cos^2\varphi} \cdot X_C$ $Q_{cablu} = 10^3 \cdot Y_C \cdot U_n^2$	$P_1 = P_2 + \Delta P$	$Q_1 = Q_2 + \Delta Q - Q_C$
3	Transformator cu două înfășurări	U_{1n}/U_{2n} 1 S_n 2 $U_{sc}, \Delta P_{sc}$ ΔP_0 I_0	1 R_T, X_T 2 ΔP_0 ΔQ_0 P_2 $\cos\varphi$	$R_T = \Delta P_{sc} \frac{U_n^2}{S_n^2} \cdot 10^3$ $X_T = U_{sc} \frac{U_n^2}{S_n} \cdot 10$ (U_n poate fi U_{1n} sau U_{2n}) $\Delta Q_0 = \frac{I_0}{100} S_n$	$\Delta P = \Delta P_0 + 10^{-3} \frac{P_2^2}{\cos^2\varphi \cdot U_n^2} R_T$ $\Delta Q = \Delta Q_0 + 10^{-3} \frac{P_2^2}{\cos^2\varphi\, U_n^2} X_T$ (același U_n cu care s-a calculat R_T X_T)	$P_1 = P_2 + \Delta P$	$Q_1 = Q_2 + \Delta Q$

Tabelul 3.27 (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7
4	Linie în serie cu transformator	1 s, l, n U_n U_{1n}/U_{2n} S_n $U_{sc}, \Delta P_{sc}$ ΔP_0 I_n 2 P_2 cos φ	1 R, X 2 ΔP_0 ΔQ_0 P_2 cos φ	$R = R_l + R_T$; $X = X_l + X_T$ } R_T, X_T calculate pentru $U_n = U_{1n}$; $\Delta Q_0 = \frac{I_0}{100} S_n$	$\Delta P =$ $= \Delta P_0 + 10^{-3} \frac{P_2^2}{\cos^2\varphi\ U_n^2} R$; $\Delta Q =$ $= \Delta Q_0 + 10^{-3} \frac{P_2^2}{\cos^2\varphi\ U_n^2} X$	$P_1 =$ $= P_2 + \Delta P$	$Q_1 =$ $= Q_2 + \Delta Q$
		U_{1n}/U_{2n} 1 S_n $U_{sc}, \Delta P_{sc}$ ΔP_0 I_0 s, l, n U_n 2 P_2 cos φ	1 R, X 2 ΔP_0 ΔQ_0 P_2 cos φ	$R = R_l + R_T$; $X = X_l + X_T$ } R_T, X_T calculate pentru $U_n = U_{1n}$; $\Delta Q_0 = \frac{I_0}{100} S_n$	$\Delta P =$ $= \Delta P_0 + 10^{-3} \frac{P_2^2}{\cos^2\varphi\ U_n^2} R$; $\Delta Q =$ $= \Delta Q_0 + 10^{-3} \frac{P_2^2}{\cos^2\varphi\ U_n^2} X$	$P_1 =$ $= P_2 + \Delta P$	$Q_1 =$ $= Q_2 + \Delta Q$
5	Cablu în serie cu transformator	1 s, l, n U_n U_{1n}/U_{2n} S_n $U_{sc}, \Delta P_{sc}$ ΔP_0 I_n 2 P_2 cos φ	1 R, X 2 ΔP_0 ΔQ_0 Q_c P_2 cos φ	$R = R_C + R_T$; $X = X_C + X_T$ } R_T, X_T calculate pentru $U_n = U_{1n}$; $Y_C = n\ l\ Y_0$; $\Delta Q_0 = \frac{I_0}{100} S_n$	$\Delta P =$ $= \Delta P_0 + 10^{-3} \frac{P_2^2}{\cos^2\varphi\ U_n^2} R$; $\Delta Q =$ $= \Delta Q_0 + 10^{-3} \frac{P_2^2}{\cos^2\varphi\ U_n^2} X$; $Q_C = 10^{-3}\ Y_C\ U_n^2$	$P_1 =$ $= P_2 + \Delta P$	$Q_1 =$ $= Q_2 +$ $+ \Delta Q - Q_C$
		U_{1n}/U_{2n} 1 S_n $U_{sc}, \Delta P_{sc}$ ΔP_0 I_0 s, l, n U_n 2 P_2 cos φ	1 R, X 2 ΔP_0 ΔQ_0 P_2 cos φ	$R = R_C + R_T$; $X = X_C + X_T$ } R_T, X_T calculate pentru $U_n = U_{2n}$; $Y_C = n\ l\ Y_0$; $\Delta Q_0 = \frac{I_0}{100} S_n$	$\Delta P =$ $= \Delta P_0 + 10^{-3} \frac{P_2^2}{\cos^2\varphi\ U_n^2} R$; $\Delta Q =$ $= \Delta Q_0 + 10^{-3} \frac{P_2^2}{\cos^2\varphi\ U_n^2} X$; $Q_C 10^3\ Y\ U_n^2$	$P_1 =$ $= P_2 + \Delta P$	$Q_1 = Q_2 +$ $+ \Delta Q - Q_C$

6	Trei elemente în serie (cablu, trafo)	U_{1n}/U_{2n}; 1 $s_1 l_1 n_1$ 2 $s_2 l_2 n_2$ S_n 3; U_n; U_n; P_2 $\cos\varphi_2$; P_3 $\cos\varphi_3$	R_1, X_1 2 R_2, X_2 3; Y_{c1}; P_2 $\cos\varphi_2$ Q_2; P_3 $\cos\varphi_3$ Q_3	$R_1 = R_{c1}$ $X_1 = X_{c1}$ $R_2 = R_T + R_{c2}$ $X_2 = X_T + X_{c2}$ R_T, X_T calculate pentru $U_n = U_{1n}$ $\Delta Q_0 = \frac{I_0}{100} S_n$ $Y_{c1} = n_1 l_1 Y_{01}$ $Y_{c2} = n_2 \cdot l_2 \cdot Y_{02}$	$\Delta P = \Delta P_0 + 10^{-3} \frac{P_3^2 + Q_3^2}{U_n^2} \cdot R_2 + 10^{-3} \cdot \frac{(P_2 + P_3)^2 + (Q_2 + Q_3)^2}{U_n^2}$ $\Delta Q = \Delta Q_0 + 10^{-3} \frac{P_3^2 + Q_3^2}{U_n^2} X_2 + 10^{-3} \cdot \frac{(P_2 + P_3)^2 + (Q_2 + Q_3)^2}{U_n^2} X_1$ $Q_c = (Y_{c1} U_n^2 + Y_{c2} U_n^2) 10^3$	$P_1 = P_2 + P_3 + \Delta P$	$Q_1 = Q_2 + Q_3 + \Delta Q - Q$

Observații. *1.* Cu formulele de mai sus se calculează pierderile numai în funcție de puterile sarcinilor efective, chiar dacă sînt mai multe tronsoane de rețea în serie. Pierderile și aportul capacitiv la cabluri Q_c se consideră numai la determinarea puterii totale absorbite din rețea (P_l, Q_l).

2. Unitățile de măsură în care se exprimă toate mărimile cu care se lucrează sînt:

P, ΔP[kW]; Q, ΔQ, Q_c [kvar]; S_n [kVA]; s [mm²]; R_0, X_0 [Ω/km]; Y_0 [S/km]; l [km]; R, X [Ω]; Y [S].

3. Caracteristici uzuale pentru cabluri și LEA:

a) cabluri 6 kV—Al

	s[mm²]	R_0[Φ/km]	X_0[Ω/km]	Y_0 [S/km]
	120	0,257	0,08	0,000144
	150	0,204	0,08	0,00017
	240	0,133	0,08	0,00033
b) LEA	—	—	0,4	—

4. La cabluri s-a neglijat conductanța și deci $B_c \approx Y_c$.

Transformatoare trifazate de putere cu două înfășurări, fabricate în R. S. România

S_n [MVA]	Tipul	U_n [kV]		Reglaj (IT) [%]	Grupa de conexiuni	Pierderi nominale [kW]		U_{sc} [%]	I_0 [%]	Prețul informativ [mii lei]
		IT	JT			ΔP_0	ΔP_{sc}			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,100	TTU−NL	6	0,4	±5	Yz_n5	0,350	2,3	4	3,0	15
0,100	TTU−NL	10	0,4	±5	Yz_n5	0,350	2,3	4	3,0	15
0,100	TTU−NL	20	0,4	±5	Yz_n5	0,365	2,3	4	3,0	15
0,160	TTU−NL	6	0,4	±5	Yz_n5	0,500	3,1	4	2,9	20
0,160	TTU−NL	10	0,4	±5	Yz_n5	0,500	3,1	4	2,9	20
0,160	TTU−NL	20	0,4	±5	Yz_n5	0,525	3,1	4	2,9	20
0,250	TTU−NL	6	0,4	±5	Dy_n5	0,660	4,4	6	2,9	22
0,250	TTU−NL	10	0,4	±5	Dy_n5	0,660	4,4	6	2,9	27
0,250	TTU−NL	20(15)	0,4	±5	Dy_n5	0,680	4,4	6	2,9	27
0,400	TTU−NL	6	0,4	±5	Dy_n5	0,940	6,0	6	2,8	40
0,400	TTU−NL	10	0,4	±5	Dy_n5	0,940	6,0	6	2,8	40
0,400	TTU−NL	20(15)	0,4	±5	Dy_n5	0,980	6 0	6	2,8	40
0,630	TTU−NL	6	0,4	±5	Dy_n5	1,200	8,2	6	2,4	63
0,630	TTU−NL	10	0,4	±5	Dy_n5	1,200	8,2	6	2,4	63
0,639	TTU−NL	20(15)	0,4	±5	Dy_n5	1,250	8,2	6	2,4	63
1	TTU−NL	6	0,4	±5	Dy_n5	1,850	12,0	6	2,0	76,5
1	TTU−NL	10	0,4	±5	Dy_n5	1,850	12,0	6	2,0	76,5
1	TTU−NL	20(15)	0,4	±5	Dy_n5	1,950	12,0	6	2,0	76,5
1	TTU−NL	20	6,3	±5	Dy_n5	1,950	12,0	6	2,0	76,5
1,6	TTU−NL	6	0,4	±5	Dy_n5	2,600	18,0	6	1,7	95,5
1,6	TTU−NL	10	0,4	±5	Dy_n5	2,600	18,0	6	1,7	95,5
1,6	TTU−NL	20(15)	0,4	±5	Dy_n5	2,700	18,0	6	1,7	95,5
1,6	TTU−NL	20	6,3	±5	Yy_n0	2,700	18,0	6	1,7	95,5
1,6	TTU−NL	20(15)	6,3	±5	Dy_n5	2,700	18,0	6	1,7	95
4	TTU−NL	35	6,3	±2×2,5	Y_Nd5	6,7	33,5	7,5	1	189,5
4	TTU−NL	22	6,3	±2×2,5	Y_Nd5	6,7	33,5	7,5	1	189,5
6,3	TTU−NL	35	6,3	±2×2,5	Y_Nd5	9,4	46,5	7,5	0,9	240
6,3	TTU−NL	22	6,3	±2×2,5	Y_Nd5	7,4	46,5	7,5	0,9	240
10	TTU−NL	35	6,3	±2×2,5	Y_Nd5	16	65	7	2	415,5
10	TTU−NL	35	22	±2×2,5	Y_Nd5	16	65	7	2	415,5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
10	TTUS—NS	110	6,3	±9×1,78	Y_Nd11	19	69	11	1,3	670
10	TTUS—NS	110	6,6	±9×1,78	Y_Nd11	19	69	11	1,3	670
10	TTUS—NS	110	11	±9×1,78	Y_Nd11	19	69	11	1,3	670
10	TTUS—NS	110	22	±9×1,78	Y_Nd11	19	69	11	1,3	670
16	TTU—NL	20	6	±2×2,5	Y_Nd11	21	100	18,5	2	568
16	TTUS—NS	35	6,3	±9×1,78	Y_Nd11	24	97	8,5	1,2	734
16	TTU—NL	38,5	6,6	±2×2,5	Y_Nd11	21	100	8	2	568
16	TTUS—NL	110	6,6	±9×1,78	Y_Nd11	24	97	11	1,2	925
16	TTUS—FS	110	6,6	±9×1,78	Y_Nd11	24	97	11	1,2	1058
16	TTUS—NS	110	11	±9×1,78	Y_Nd11	24	97	11	1,2	925
16	TTUS—FS	110	11	±9×1,78	Y_Nd11	24	97	11	1,2	1058
16	TTUS—NS	110	22	±9×1,78	Y_Nd11	24	97	11	1,2	925
16	TTUS—NS	110	22	±9×1,78	Y_Nd11	24	97	11	1,2	1058
16	TTUS—NS	116	6,3	±9×1,78	Y_Nd11	24	97	11	1,2	925
16	TTUS—FS	116	6,3	±9×1,78	Y_Nd11	24	97	11	1,2	1058
25	TTUS—NS	35	6,3	±9×1,78	Y_Nd11	30	130	10	1	1140
25	TTUS—NS	110	6,3	±9×1,78	Y_Nd11	30	130	11	1	1020
25	TTUS—FS	110	6,3	±9×1,78	Y_Nd11	30	130	11	1	1141
25	TTUS—NS	110	6,6	±9×1,78	Y_Nd11	30	130	11	1	1020
25	TTUS—FS	110	6,6	±9×1,78	Y_Nd11	30	130	11	1	1141
25	TTUS—FS	110	6,6	±9×1,78	Y_Nd11	30	130	11	1	1300
25	TTUS—NS	110	11	±9×1,78	Y_Nd11	30	130	11	1	1020
25	TTUS—FS	110	11	±9×1,78	Y_Nd11	30	130	11	1	1141
25	TTUS—NS	110	22	±9×1,78	Y_Nd11	30	130	11	1	1020
25	TTUS—FS	110	22	±9×1,78	Y_Nd11	30	130	11	1	1141
25	TTUS—NS	116	6,3	±9×1,78	Y_Nd11	30	130	11	1	1020
25	TTUS—FS	116	6,3	±9×1,78	Y_Nd11	30	130	11	1	1141
25	TTUS—NS	116	6,6	±9×1,78	Y_Nd11	30	130	11	1	1056
25	TTUS—FS	116	10,5	±9×1,78	Y_Nd11	30	130	11	1	1141
40	TTUS—FS	110	6,3	±9×1,78	Y_Nd11	52	180	12	1	1685
40	TTUS—FS	110	6,6	±9×1,78	Y_Nd11	52	180	12	1	1685
40	TTUS—FS	110	10,5	±9×1,78	Y_Nd11	52	180	21	1	1685
40	TTUS—FS	110	11	±9×1,78	Y_Nd11	52	180	12	1	1685
40	TTUS—FS	110	22	±9×1,78	Y_Nd11	52	180	12	1	1685
63	TTUS—FS	110	6,6	±9×1,78	Y_Nd11	60	260	12	0,9	2000
63	TTUS—FS	110	10,5	±9×1,78	Y_Nd11	60	260	12	0,9	2000
80	TTUS—FS	116	10,5	±9×1,78	Y_Nd11	75	300	11,5	0,8	2450
125	TTUS—FS	116	10,5	±9×1,78	Y_Nd11	110	455	12,5	0,7	3750

Tabelul 3.29

Transformatoare trifazate de putere cu trei înfășurări fabricate în R. S. România

S_n [MVA]	Tipul	U_n [kV] IT	U_n [kV] MT	U_n [kV] JT	Reglajul [%] IT	Reglajul [%] MT	Grupa de conexiuni	Pierderi nominale [kW] ΔP_0	Pierderi nominale [kW] ΔP_{sc}	U_{sc} [%] IT–MT	U_{sc} [%] IT–JT	U_{sc} [%] MT–JT	I_0 [%]
10/10/10	TTUS–NS	110	22	6,3	±9×1,78	2×2,5	$Y_N y_n Od_{11}$	26	110	10,5	17,5	6	1,5
10/10/10	TTUS–NS	110	22	6,6	±9×1,78	2×2,5	$Y_N y_n Od_{11}$	26	100	10,5	17,5	6	1,5
10/10/10	TTUS–NS	110	38,5	6,6	±9×1,78	2×2,5	$Y_N y_n Od_{11}$	26	100	10,5	17,5	6	1,5
10/10/10	TTUS–NS	110	38,5	22	±9×1,78	2×2,5	$Y_N y_n Od_{11}$	26	100	10,5	17,5	6	1,5
16/10/16	TTUS–NS	110	22(16,5)	6,6	±9×1,78	—	$Y_N y_n Od_{11}$	28,5	100	10,5	17,5	6	1,5
16/10/16	TTUS–NS	110	38,5	6,6	±9×1,78	2×2,5	$Y_N y_n Od_{11}$	28,5	100	10,5	17,5	6	1,5
25/16(12)/25	TTUS–NS	110	22(16,5)	6,3	±9×1,78	—	$Y_N d_{11} d_{11}$	40	150	10	17	6	1,2
25/16(12)/25	TTUS–NS	110	22(16,5)	6,6	±9×1,78	—	$Y_N d_{11} d_{11}$	40	150	10	17	6	1,2
25/16(12)/25	TTUS–NS	110	22(16,5)	10,5	±9×1,78	—	$Y_N y_n Od_{11}$	40	150	10	17	6	1,2
25/16/25	TTUS–NS	110	38,5	6,6	±9×1,78	2×2,5	$Y_N y_n Od_{11}$	40	150	10	17	6	1,2
25/15/25	TTUS–NS	110	38,5	11,5	±9×1,78	2×2,5	$Y_N y_n Od_{11}$	40	150	10	17	6	1,2
25/16/25	TTUS–NS	110	38,5	22	±9×1,78	2×2,5	$Y^N y_n Od_{11}$	40	150	10	17	6	1,2
40/40/40	TTUS–NS	110	10,5	6,3	±9×1,78	—	$Y_N d_{11} d_{11}$	55	220	11	16,5	30	1,5

Tabelul 3.30

Autotransformatoare de putere cu trei înfășurări, fabricate în R. S. România

S_n [MVA]	Tipul	U_n [kV] IT	U_n [kV] MT	U_n [kV] JT	Reglajul	Grupa de conexiuni	Pierderi nominale [kW] ΔP_0	Pierderi nominale [kW] ΔP_{sc} IT–MT	ΔP_{sc} IT–JT	ΔP_{sc} MT–JT	U_{sc} [%] IT–MT	U_{sc} [%] IT–JT	U_{sc} [%] MT–JT	I_0 [%]
100/100/100	ATUS–FS	231	121	10,5	12×1,25	$Y_N y_n Od5$	65	320	135	135	10	10	6	0,8
200/200/50	ATUS–FS	231	121	10,5	12×1,25	$Y_N y_n Od5$	105	485	170	170	10	10	6	0,8
400/400/160	ATUS–FS	400	231	22	12×1,25	$Y_N y_n Od5$	160	850	550	580	11,7	22	13	0,4

În tabelele 3.28, 3.29 și 3.30 sînt date caracteristicile transformatoarelor și autotransformatoarelor fabricate în R.S. România (T — transformator; A — autotransformator; T — trifazat; U — ulei; S — cu reglaj sub sarcină; N — cu răcire; F — cu circulație forțată a uleiului).

1. Schemele electrice echivalente ale transformatoarelor trifazate

a) Transformatorul trifazat cu două înfășurări funcționînd în condiții de încărcare simetrică a fazelor, poate fi reprezentat printr-o schemă echivalentă monofazată în T, π sau Γ — figura 3.11 (în care mărimile și parametrii înfășurării de joasă tensiune au fost raportați la înfășurarea de înaltă tensiune). Notațiile din figură au următoarele semnificații:

R_T este rezistența pe fază a înfășurărilor de înaltă și joasă tensiune;

X_T — reactanța inductivă de dispersie pe fază;

G_T — conductanța pe fază;

B_T — susceptanța inductivă, determinată de pierderile de putere prin curenți de magnetizare.

La transformatoarele coborîtoare de tensiune, parametrii G_T și B_T se consideră conectați la bornele de înaltă tensiune, iar la transformatoarele ridicătoare la bornele de joasă tensiune.

b) Transformatoarele trifazate cu trei înfășurări.

Transformatoarele cu trei înfășurări pot fi reprezentate prin schemele echivalente din figura 3.12 în care toate elementele sînt raportate la același nivel de tensiune.

Parametrii pot fi de secvență *directă*, *inversă* și *homopolară*.

2. Parametrii de secvență directă și inversă

Mărimile electrice care caracterizează schema echivalentă a transformatorului se referă la regimul de încărcare simetric; din această cauză parametrii electrici rezultați din calcule corespund secvenței directe.

Transformatorul fiind o mașină electrică statică, parametrii lui de secvență inversă sînt identici cu cei de secvență directă.

a) Transformatorul trifazat cu două înfășurări

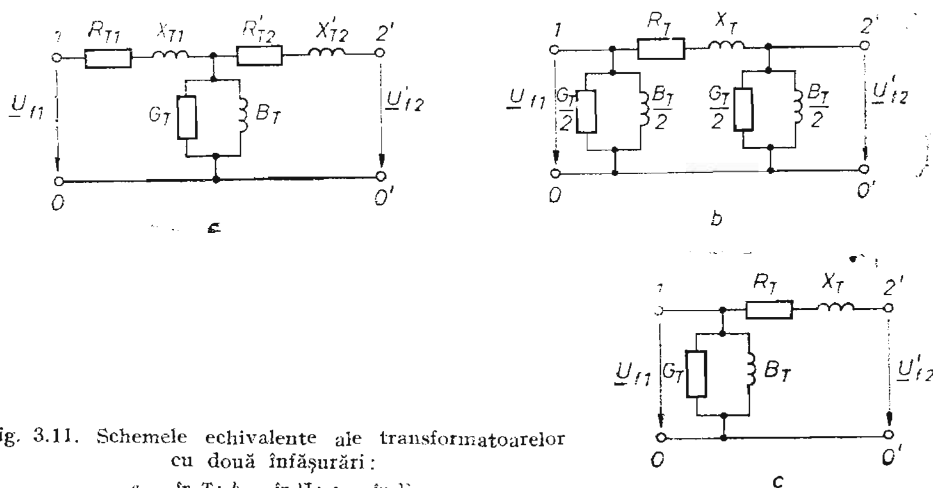


Fig. 3.11. Schemele echivalente ale transformatoarelor cu două înfășurări:
a — în T; *b* — în Π; *c* — în Γ.

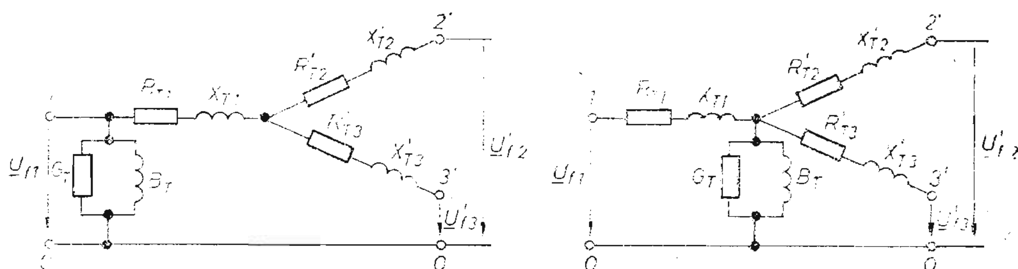


Fig. 3.12. Schemele echivalente ale transformatoarelor cu trei înfăşurări:
a — în Γ; *b* — în stea.

Rezistenţa echivalentă a transformatorului se determină din puterea activă absorbită de transformator în regim de scurtcircuit şi se exprimă prin relaţia

$$R_T = \frac{\Delta P_{sc} \cdot U_n^2}{S_n^2} \cdot 10^{-3} \ [\Omega], \qquad (3.16)$$

în care: ΔP_{sc} sînt pierderile nominale în înfăşurări, determinate de regimul de scurtcircuit, în kW;

U_n — tensiunea nominală (de linie) la care se raportează parametrii schemei, în kV;

S_n — puterea aparentă nominală a transformatorului, în MVA.

Reactanţa inductivă echivalentă:

$$X_T = \frac{U_{sc} \cdot U_n^2}{100 S_n} \ [\Omega], \qquad (3.17)$$

în care U_{sc} este tensiunea de scurtcircuit, în %.

Conductanţa:

$$G_T = \frac{\Delta P_0}{10^3 \cdot U_n^2} \ [S], \qquad (3.18)$$

în care ΔP_0 sînt pierderile nominale de putere activă în fier la mersul în gol, în kW.

Susceptanţa inductivă:

$$B_T = \frac{I_0 \cdot S_n}{100 \cdot U_n^2} \ [S], \qquad (3.19)$$

în care I_0 este curentul de mers în gol, în %.

b) Transformatorul trifazat cu trei înfăşurări

În sistemul energetic se folosesc trei tipuri de transformatoare trifazate de putere cu trei înfăşurări, care se deosebesc între ele după puterea fiecărei înfăşurări — tabelul 3.31.

Tabelul 3.31

Repartizarea puterilor pe înfășurări la transformatoarele cu trei înfășurări

Tipul transformatorului	Puterea nominală a fiecărei înfășurări în procente din puterea nominală a transformatorului		
	IT	MT	JT
I	100	100	100
II	100 100	100 66,7	66,7 100
III	100	66,7	66,7

Rezistența transformatorului de tipul I:

$$R_T = \frac{\Delta P_{sc} \cdot U_n^2}{2S_n^2} \cdot 10^{-3}\ [\Omega], \tag{3.20}$$

în care: ΔP_{sc} sînt pierderile nominale în înfășurări, determinate de regimul de scurtcircuit, în kW;
U_n — tensiunea nominală a treptei la care se face raportarea, în kV;
S_n — puterea aparentă nominală a înfășurării cu puterea cea mai mare, în MVA.

La această categorie de transformatoare:

$$R_{T_1} = R'_{T_2} = R'_{T_3} = R_T \tag{3.21}$$

Rezistența transformatorului de tipul II:

$$R_{T_1} = R'_{T_2} = \frac{\Delta P_{sc} \cdot U_n^2}{2S_n^2} \cdot 10^{-3}\ [\Omega]; \tag{3.22}$$

$$R'_{T_3} = 1{,}5R_{T_1}. \tag{3.23}$$

Pentru determinarea pierderilor de putere ΔP_{sc} în înfășurări la această categorie de transformatoare, se consideră că înfășurările de putere mai mare sînt încărcate la sarcină nominală, iar înfășurarea de joasă tensiune funcționează în gol.

Rezistența transformatorului de tipul *III*:

$$R_{T_1} = \frac{\Delta P_{sc} \cdot U_n^2}{1{,}83S_n^2} \cdot 10^{-3}\ [\Omega]; \tag{3.24}$$

$$R'_{T_2} = R'_{T_3} = 1{,}5R_{T_1}. \tag{3.25}$$

La acest tip de transformator, ΔP_{sc} sînt date pentru cazul cînd ele sînt maxime, ceea ce corespunde la următoarele încărcări: 100% IT, 66,7% MT și 66,7% JT.

Observație. În cazul transformatoarelor cu trei înfășurări R'_{T_1}, R'_{T_2} și R'_{T_3} reprezintă rezistențele celor trei înfășurări raportate la același nivel de tensiune.

Pentru transformatorul cu trei înfășurări sînt date în cataloage tensiunile de scurtcircuit, în procente, pe perechi de înfășurări (U_{sc1-2}, U_{sc2-3}, U_{sc1-3}). În acest caz, reactanțele inductive se pot calcula folosind formula de la transformatorul cu două înfășurări :

$$X_{T1-2} = \frac{U_{sc\,1-2} \cdot U_n^2}{100\,S_n}\ [\Omega]; \tag{3.26}$$

$$X_{T2-3} = \frac{U_{sc\,2-3} \cdot U_n^2}{100\,S_n}\ [\Omega]; \tag{3.27}$$

$$X_{T1-3} = \frac{U_{sc\,1-3} \cdot U_n^2}{100\,S_n}\ [\Omega], \tag{3.28}$$

în care : U_n este tensiunea nominală la care se raportează parametrii transformatorului, în kV ;

S_n — puterea aparentă nominală a înfășurării cu puterea cea mai mare, în MVA.

Deoarece :

$$\begin{aligned} X_{T1-2} &= X_{T1} + X_{T2}; \\ X_{T2-3} &= X_{T2} + X_{T3}; \\ X_{T1-3} &= X_{T1} + X_{T3}, \end{aligned} \tag{3.29}$$

rezultă :

$$\begin{aligned} X_{T1} &= \frac{X_{T1-2} + X_{T1-3} - X_{T2-3}}{2}, \\ X_{T2} &= \frac{X_{T2-3} + X_{T1-2} - X_{T1-3}}{2} \\ X_{T3} &= \frac{X_{T1-3} + X_{T2-3} - X_{T1-2}}{2}. \end{aligned} \tag{3.30}$$

Parametrii transversali, conductanța G_T și susceptanța inductivă B_T se calculează ca și la transformatorul cu două înfășurăriri.

3. Parametrii de secvență homopolară

Reactanța de secvență homopolară a transformatoarelor este determinată în mare măsură de construcția și schema de conexiuni a înfășurărilor.

Pentru ca într-un transformator să poată circula curenți de secvență homopolară este necesar ca cel puțin una din înfășurări să fie conectată în stea sau zig-zag cu neutrul legat la pămînt ; într-o înfășurare conectată în triunghi poate să circule un curent de secvență homopolară, dar acesta rămîne în înfășurare ; pentru sistem o astfel de înfășurare reprezintă o înfășurare în scurtcircuit.

În tabelul 3.32 se dau schemele echivalente pentru unele transformatoare, precum și impendanțele homopolare ale acestora. Notațiile au următoarele semnificații :

Z_{h1} — impedanță homopolară a înfășurări primare ;

Z_{h2} — impedanța homopolară a înfășurării secundare, raportată la primar ;

Schemele echivalente de secvență homopolară ale transformatoarelor trifazate de putere

Schema de conexiuni	Schema echivalentă	Impedanțe homopolare pentru transformatoare
		$Z_{h12} = Z_{12}$ $Z_{h10} \approx (4,5 \dots 5,5) Z_{12}$ $Z'_{h20} \approx (4,5 \dots 5,5) Z_{12}$
		$Z_{h12} = -Z'_{h20} = \infty$ $Z_{h10} = Z_{h1} + Z_{hm} \approx (4,5 \dots 6,5) Z_{13}$
		$Z_{h12} = \infty \quad Z'_{h20} = \infty$ $Z_{h10} = Z_{h1} - 4 Z'_{h2} \parallel Z_{hm} =$ $= 0,85 Z_{12} \approx Z_{12}$
		$Z_{h12} = \infty \quad Z_{h10} = \infty$ $Z'_{h20} \approx 0,1 Z_{12}$
		$Z_{h12} = Z_{12} \quad Z_{h13} = \infty$ $Z_{h10} = Z_{h1} + Z_{hm} \parallel Z'_{h3}$ $Z'_{h20} = Z'_{h2} + Z_{hm} \parallel Z'_{h3}$ $Z'_{h23} = Z'_{h30} = \infty$
		$Z_{h12} = Z_{h13} = \infty$ $Z_{h10} = Z_{h1} + Z_{hm} \parallel Z'_{h3}$ $Z'_{h20} = Z'_{h23} = Z'_{h30} = \infty$
		$Z_{h12} = Z_{h2} \quad Z_{h13} = \infty$ $Z_{h10} = Z_{h1} + Z_{hm} \parallel Z'_{h3}$ $Z'_{h20} = Z'_{h2} + Z_{hm} \parallel Z'_{h3}$ $Z'_{h23} = Z'_{h30} = \infty$
		$Z_{h10} = Z_{h1} + Z'_{h2} \parallel Z'_{h3} \parallel Z_{hm}$ $Z_{h12} = Z_{h13} = \infty$ $Z'_{h20} = Z'_{h23} = Z'_{h30} = \infty$

Z_{hm} — impedanța homopolară mutuală;
Z_T — impedanța transformatorului,

$$Z_T = \sqrt{R_T^2 + X_T^2}.$$

3.6.2. PARAMETRII LINIILOR ELECTRICE AERIENE

Parametrii electrici ai LEA sînt: rezistența R_l, reactanța X_l, conductanța G_l și susceptanța B_l; pentru unitatea de lungime, considerată pentru calculele practice de 1 km, acești parametri au valorile R_0, X_0, G_0, și B_0.

Pentru LEA cu lungimi pînă la 300 km se pot considera, fără a face o eroare prea mare, scheme echivalente în π sau T (fig. 3.13) cu parametrii concentrați.

Notațiile din figura 3.13 au următoarele semnificații:

$Z_l = R_l + jX_l$ — impedanța liniei — parametru longitudinal;

$Y_l = G_l + jB_l$ — admitanța liniei — parametru transversal al liniei.

Pentru LEA cu tensiunea pînă la 110 kV inclusiv, se poate neglija admitanța; în acest caz schema echivalentă va avea forma din figura 3.14.

Rezistența unei faze este

$$R_l = \frac{l}{n} R_0 \quad [\Omega], \tag{3.31}$$

cu

$$R_0 = \rho \frac{1000}{s} \; [\Omega/\text{km}],$$

în care: ρ este rezistivitatea materialului conductor, în $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$;

s — secțiunea conductorului, în mm^2;

l — lungimea liniei, în km;

n — numărul de linii în paralel.

Observații. *1.* STAS 3032—52 și STAS 687—56 prevăd următoarele valori pentru rezistivitățile liniilor electrice: pentru cupru $\rho_{Cu} = 18\ \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$, iar pentru aluminiu $\rho_{Al} = 29{,}7\ \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$.

2. În cazul conductoarelor funie, lungimea firelor componente răsucite este cu (2—4%) mai mare decît lungimea conductorului.

3. Valoarea lui R_0 este dată în tabele (tab. 3.33 și 3.34) în funcție de natura materialului conductor și de secțiunea acestuia.

4. Pentru conductoarele de oțel-aluminiu se ia în considerare numai secțiunea de aluminiu.

Reactanța inductivă de secvență directă (egală cu cea de secvență inversă) pe unitatea de lungime a fazei unei linii electrice trifazate cu sim-

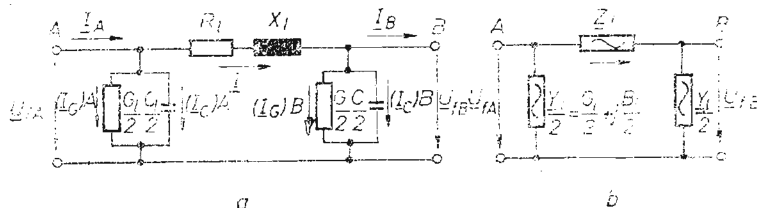


Fig. 3.13. Schemele echivalente ale liniilor electrice aeriene.

plu circuit și cu conductoarele complet transpuse, se calculează cu relația :

$$x_0 = 0{,}1445 \lg \frac{d_m}{r} + 0{,}0157 \quad [\Omega/\text{km}], \tag{3.32}$$

în care: d_m este distanța medie geometrică a distanțelor între faze,

$d_m = \sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{23} \cdot d_{13}}$, în cm;

r — raza exterioară a conductorului, în cm.

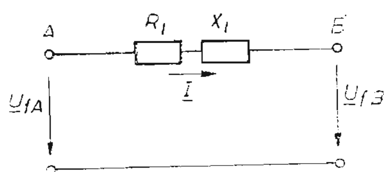


Fig. 3.14. Schema echivalentă simplificată a LEA.

Reactanța pe fază a liniei electrice cu lungimea l, în km, este:

$$X_l = X_0 \cdot l, \tag{3.33}$$

Observații. *1.* Pentru LEA cu dublu circuit și cu conductoarele complet transpuse [13]

$$X_0 = 0{,}1445 \lg \frac{d_m \cdot d'_m}{d''_m \cdot r} \quad [\Omega/\text{km}], \tag{3.34}$$

în care: $d'_m = \sqrt[3]{d_{12'} \cdot d_{23'} \cdot d_{31'}}$ [cm]; (3.35)

$d''_m = \sqrt[3]{d_{11'} \cdot d_{22'} \cdot d_{33'}}$ [cm];

cu indicele prim s-au notat conductoarele fazelor celui de-al doilea circuit.

2. Pentru LEA cu conductoare jumelate [4]

$$X_0 = 0{,}1445 \lg \frac{d_m}{\rho_e}, \tag{3.36}$$

$$\rho_e = \sqrt[n]{n \cdot r_e \cdot r_T^{n-1}}, \tag{3.37}$$

în care: ρ_e este raza echivalentă a conductorului fascicular, în cm;

n — numărul de conductoare care formează conductorul fascicular;

r_e — raza echivalentă medie a conductorului propriu-zis, în cm;

d_m — distanța medie geometrică între faze, în cm;

r_T — are semnificația din figura 3.15.

3. Valoarea lui X_0 este dată în tabelele 3.33 și 3.34 în funcție de natura și secțiunea materialului conductor și de distanța medie geometrică.

Reactanța de secvență homopolară, pe unitatea de lungime a unei faze, se calculează cu relația:

$$X_{0h} = 0{,}4335 \lg \frac{d_p}{\rho_e} \quad [\Omega/\text{km}], \tag{3.38}$$

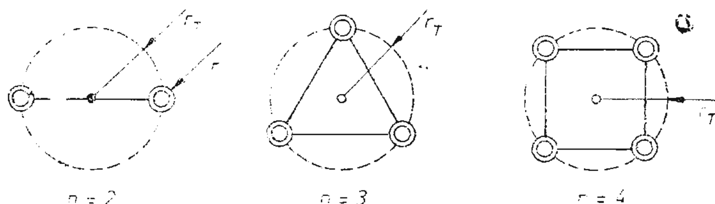


Fig. 3.15. Variante de dispunere a conductoarelor jumelate.

Rezistențele și reactanțele LEA cu conductoare din aluminiu

Secțiunea conductorului [mm²]		16	25	35	50	70	95	120	150	185
Rezistența [Ω/km*]		1,97	1,285	0,91	0,645	0,474	0,335	0.266	0,212	0,174
Reactanța, în Ω/km în cazul distanței medii geometrice între conductoare, în mm:	600	0,356	0,345	0,336	0,325	0,315	0,303	0,297	0,288	0,279
	800	0,377	0,363	0,352	0,341	0,331	0,309	0,313	0,305	0,298
	1 000	0,391	0,377	0,366	0,355	0,345	0,344	0,327	0,319	0,311
	1 200	0,405	0,391	0,380	0,365	0,359	0,347	0,341	0,333	0,328
	1 500	—	0,402	0,391	0,380	0,370	0,358	0,352	0,344	0,339
	2 000	—	0,421	0,410	0,398	0,388	0.377	0,368	0.363	0.355
	2 500	—	0,435	0,424	0,413	0,399	0.391	0,382	0,377	—
	3 000	—	0,446	0,435	0,423	0,410	0,401	0,393	0,388	—
	3 500	—	—	0,445	0,433	0,420	0,411	0,403	0,398	—
	4 000	—	—	0,453	0,441	0,428	0,419	0,411	0.406	—

* Pentru calculul rezistențelor s-a adoptat $\rho_{Al} = 31,2\ \Omega\ mm^2/km$, întrucît linia este considerată în exploatare.

Tabelul 3.34

Rezistențele și reactanțele LEA cu conductoare din oțel-aluminiu, construcție normală

Secțiunea conductorului [mm²]		35	50	70	95	120	150	185	240	300	400
Rezistența, Ω/km*		0,91	0,645	0,471	0,346	0,254	0,209	0,170	0,134	0,105	0,079
Reactanța, în Ω/km, în cazul distanței medii geometrice între conductoare, în mm:	1 500	0,385	0,374	0,264	0,353	0,347	0,340	—	—	—	—
	2 000	0,403	0,392	0,382	0,371	0,365	0,358	—	—	—	—
	2 500	0,417	0,406	0,396	0,385	0,379	0,372	0,365	0,357	—	—
	3 000	0,429	0,418	0,408	0,397	0,391	0,384	0,377	0,369	—	—
	3 500	0,438	0,427	0,417	0,406	0,400	0,398	0,386	0,378	—	—
	4 000	0,446	0,435	0,425	0,414	0,408	0.401	0,394	0,386	—	—
	4 000	—	—	0,433	0,422	0,416	0,409	0,402	0.394	—	—
	5 000	—	—	0,440	0,429	0,423	0,416	0,409	0,401	—	—
	5 500	—	—	0,446	0,435	0,429	0,422	0.415	0.407	0,399	0.391
	6 000	—	—	—	—	—	—	—	0,413	0,405	0,397
	6 500	—	—	—	—	—	—	—	—	0,410	0,402
	7 000	—	—	—	—	—	—	—	—	0,414	0,406
	7 500	—	—	—	—	—	—	—	—	0,418	0,410

* Pentru calculul rezistențelor s-a adoptat $\rho_{Al} = 31,2\ \Omega mm^2/km$, întrucît linia este considerată în exploatare.

în care: d_p este distanța între conductorul fazei considerate și calea de întoarcere a curentului prin pămînt:

$$d_p = \frac{0{,}2085}{\sqrt{f \cdot \gamma \cdot 10^{-9}}} \text{ [cm]};$$

f — frecvența, în Hz;
γ — conductivitatea pămîntului
(γ = 10^{-5} S/km pt. pămînt uscat,
γ = 10^{-4} S/km pt. pămînt umed);
$\rho_s = \sqrt[3]{r_e \cdot d_m^2}$ — raza medie geometrică a sistemului, în cm;
r_e — raza echivalentă medie a conductorului, în cm.

Pentru a evita calculul reactanțelor de secvență homopolară care este destul de complex, se pot admite următoarele valori aproximative:

— pentru LEA simplu circuit de 35, 110 și 220 kV

$$X_{0h} = (3 \div 4)X_0; \qquad (3.39)$$

— pentru LEA dublu circuit de 35, 110 și 220 kV

$$X_{0h} = (6 \div 7)\,X_0, \text{ pentru un circuit.}$$

Reactanța homopolară a liniei este

$$X_{lh} = X_{0h} \cdot l \;[\Omega].$$

În tabelul 3.35 se dau valorile reactanțelor de secvență homopolară pentru diverse variante constructive, în funcție de reactanța directă.

Tabelul 3.35

Valorile reactanțelor de secvență homopolară X_{0h} în funcție de reactanțele directe X_0, pentru diverse variante constructive ale liniei

Felul liniei	Reactanța homopolară
Linie cu un singur circuit, fără conductor de protecție	$X_{0h} = 3{,}5X_0$
Linie cu un singur circuit, cu conductor de protecție din cupru sau din aluminiu	$X_{0h} = 2X_0$
Linie cu un singur circuit, cu conductor de protecție din oțel	$X_{0h} = 3X_0$
Linie cu două circuite fără conductor de protecție	$X_{0h} = 5{,}5X_0$
Linie cu două circuite cu conductor de protecție din cupru sau din aluminiu	$X_{0h} = 3X_0$
Linie cu două circuite cu conductor de protecție din oțel	$X_{0h} = 4{,}7X_0$

Observații. *1.* În cazul sistemului homopolar de curenți, apare un flux magnetic rezultant mare, care induce în conductorul de protecție un curent suficient de mare; acest curent fiind de sens contrar celui de linie, fluxul rezultant scade și deci scade și reactanța homopolară a liniei;

2. La LEA cu conductoare de protecție din oțel, reactanța homopolară este redusă în mică măsură, aproximativ cu 10%; practic se poate considera că la aceste linii reactanța

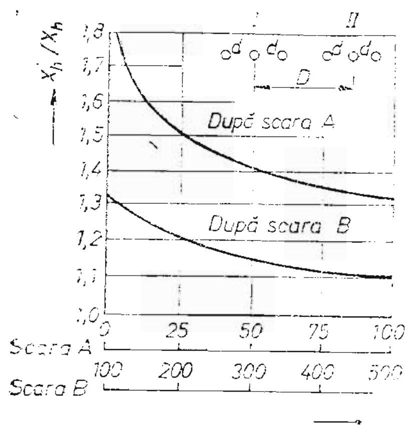


Fig. 3.16. Variația reactanței homopolare a fazei unei linii electrice cu dublu circuit în funcție de distanța între circuite.

homopolară nu este influențată de prezența conductoarelor de protecție;

3. La LEA cu dublu circuit, în calculul lui X_{0h} se ține seama și de prezența celui de-al doilea circuit. În figura 3.16, se reprezintă variația reactanței homopolare a unei faze în funcție de distanța dintre circuite.

Conductanța LEA este determinată de pierderile de putere activă în dielectric pe cale transversală. Aceste pierderi sînt condiționate atît de gradul de imperfecțiune al izolației, cît și de efectul corona.

Conductanța determinată de imperfecțiunea izolației este practic neglijabilă. Se ia în considerare conductanța determinată de pierderile de putere activă prin efectul corona. Efectul corona apare atunci cînd intensitatea cîmpului electric din apropierea conductoarelor depășește mărimea rigidității dielectrice a aerului, care se consideră de 21,1 kV/cm.

Tensiunea de la care apare efectul corona se numește tensiune critică U_{cr}; pentru LEA cu tensiunea pînă la 220 kV se folosește următoarea formulă:

$$U_{cr} = 84\, m_1 \cdot m_2 \cdot \delta \cdot r \cdot \lg \frac{d_m}{r} \quad [\text{kV}], \tag{3.40}$$

în care: m_1 este un coeficient care ține seama de starea suprafeței conductorului; $m_1 = 0,88 \div 0,98$ pentru conductoare monofilare și $0,72 \div 0,89$ pentru conductoare multifilare;

m_2 — coeficient ce ține cont de starea atmosferică; $m_2 = 1$ pentru timp frumos și 0,8 pentru timp umed;

δ — coeficient care ține seama de densitatea relativă a aerului: $\delta = \frac{3,92b}{273 + t}$;

b — presiunea atmosferică, în cm col. Hg;

t — temperatura aerului, în °C;

d_m — distanța medie geometrică dintre conductoare, în cm;

r — raza exterioară a conductorului, în cm.

Pentru determinarea pierderilor de putere activă ΔP_0 pe km și fază, prin efectul corona, se folosește formula lui Peek:

$$\Delta P_0 = \frac{241}{\delta}(f + 25)\sqrt{\frac{r}{d_m}}\,(U_n - U_{cr})^2 \cdot 10^{-5} \quad [\text{kW/km}], \tag{3.41}$$

în care: f este frecvența, în Hz;

U_n, U_{cr} — tensiunile între faze, în kV.

Corespunzător pierderilor prin efect corona, linia prezintă o conductanță de valoare:

$$G_0 = \frac{\Delta P_0}{U_n^2}, \text{ [S/km]}, \quad (3.42)$$

în care ΔP_0 sînt pierderile prin efect corona, în MW.

Conductanța întregii linii:

$$G_l = G_0 \cdot l \text{ [S]} \quad (3.43)$$

în care: l este lungimea liniei, în km.

Observații. *1.* În proiectare, efectul corona se verifică începînd cu tensiunea de 60 kV.

2. Efectul corona apare cînd $U_n > U_{cr}$.

3. Formula (3.40) se aplică numai conductoarelor situate în vîrfurile unui triunghi echilateral.

4. La așezarea conductoarelor în același plan, tensiunea critică a conductorului din mijloc este cu 4% mai mică ($0{,}96\ U_{cr}$), iar a celor externe cu 6% mai mare ($1{,}06\ U_{rc}$), decît cea calculată cu relația (3.46).

5. În calculele practice, tensiunile critice pe fază se calculează pentru timpul defavorabil ($m_2 = 0{,}8$).

Susceptanța capacitivă de secvență directă sau inversă pe unitatea de lungime a unei faze se calculează cu relația:

$$B_0 = \frac{7{,}58}{\lg \frac{d_m}{r}} \cdot 10^{-6} \text{ [S/km]}, \quad (3.44)$$

în care: $d_m = \sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{23} \cdot d_{31}}$, este distanța medie geometrică între cele trei conductoare, în cm;
r — raza conductorului, în cm.

Susceptanța capacitivă a liniei este

$$B_l = B_0 \cdot l \text{ [S]}. \quad (3.45)$$

Întrucît linia este un element pasiv, susceptanța capacitivă de secvență homopolară a unei faze se calculează cu relația [4]

$$B_{oh} = \frac{2{,}53}{\lg \frac{2h_m}{r_{ech}}} \cdot 10^{-6} \text{ [S/km]}, \quad (3.46)$$

în care: $h_m = \sqrt[3]{h_1 \cdot h_2 \cdot h_3}$, este distanța medie a conductoarelor active față de sol, în cm;
$r_{ech} = \sqrt[3]{r \cdot d_m^2}$ — raza conductorului echivalent celor trei conductoare de fază, în regim homopolar, în cm.

Susceptanța capacitivă de secvență homopolară pe fază a liniei electrice cu lungimea l este:

$$B_{lh} = B_{0h} \cdot l \text{ [S]}. \quad (3.47)$$

Observații. *1.* Înălțimile h_1, h_2, h_3 sînt date în funcție de înălțimile H_1, H_2, H_3 ale punctelor de suspensie ale conductoarelor pe stîlp:

$$h_1 = H_1 - 0{,}7\,f;$$
$$h_2 = H_2 - 0{,}7\,f; \qquad (3.48)$$
$$h_3 = H_3 - 0{,}7\,f.$$

în care f este săgeata conductorului, în cm.

2. În cazul în care linia are conductoare fasciculare, susceptanța capacitivă se calculează tot cu relația (3.44), în care se înlocuiește r cu ρ_e (relația 3.37).

3. Pentru linii trifazate cu dublu circuit și cu conductoarele complet transpuse

$$B_0 = \frac{7{,}58}{\lg \dfrac{d_m \cdot d_m'}{r \cdot d_m''}} \cdot 10^{-6}\ [\mathrm{S/km}], \qquad (3.49)$$

în care: d_m, d_m' și d_m'' au semnificația din relația (3.41), iar

$$B_{0h} = \frac{7{,}58}{\lg \dfrac{(2h_m)^3}{r \cdot d_m^2} \cdot \dfrac{d_m'''^3}{d_m'' \cdot d_m'^2}} \cdot 10^{-6}\ [\mathrm{S/km}], \qquad (3.50)$$

în care $d_m''' = \sqrt[3]{d_{12}' \cdot d_{23}' \cdot d_{31}'}$, este distanța medie între conductoarele circuitului *1* și imaginile față de sol ale conductoarelor.

3.6.3. PARAMETRII ELECTRICI AI LINIILOR ÎN CABLU

Parametrii electrici ai liniilor electrice în cablu sînt:

— rezistența R_0, în Ω/km și R_c, în Ω;

— reactanța inductivă X_0, în Ω/km și X_c, în Ω;

— conductanța G_0, în S/km și G_c, în S;

— susceptanța capacitivă B_0, în S/km și B_c, în S.

Schema electrică echivalentă a liniei electrice în cablu este asemănătoare cu cea a LEA. Deoarece conductanța este cu mult mai mică decît susceptanța capacitivă a cablului, aceasta se poate neglija, iar schema echivalentă devine cea din figura 3.17.

Rezistența se determină în principiu ca și la conductoarele LEA; variația rezistenței electrice, în urma modificării temperaturii este mai accentuată, avînd în vedere posibilitățile mai reduse de evacuare a pierderilor Joule-Lenz sau dielectrice-tabelul 3.36.

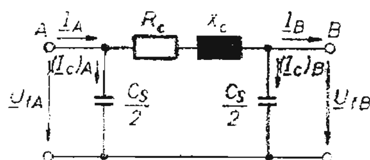


Fig. 3.17. Schema echivalentă a liniei electrice în cablu.

Reactanța inductivă de secvență directă sau inversă este

$$X_0 = 0{,}1445 \lg \frac{d_m}{r}\ [\Omega/\mathrm{km}], \qquad (3.51)$$

în care d_m și r au semnificațiile relației (3.35).

Tabelul 3.36

Rezistența în curent continuu a conductoarelor de cupru și aluminiu, în [Ω/km], în funcție de temperatura conductorului

Secțiunea conductorului [mm²]	Temperatura conductorului											
	20°C		25°C		30°C		35°C		40°C		45°C	
	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al
1,5	11,9	—	12,1	—	12,4	—	12,6	—	12,8	—	13,0	—
2,5	7,14	12,1	4,55	12,3	7,42	12,6	7,56	12,8	7,70	13,0	7,84	13,3
4	4,46	7,58	7,28	7,73	4,63	7,88	4,72	8,04	4,81	8,19	4,90	8,34
6	2,98	5,05	3,03	5,15	3,09	5,25	3,15	5,35	3,21	5,45	3,27	5,58
10	1,79	3,03	1,82	3,09	1,86	3,15	1,89	3,21	1,92	3,27	1,96	3,33
16	1,12	1,89	1,14	1,93	1,16	1,97	1,81	2,00	1,20	2,04	1,22	2,08
25	0,714	1,21	0,728	1,23	0,742	1,26	0,765	1,28	0,77	1,31	0,784	1,33
35	0,510	0,866	0,52	0,883	0,530	0,90	0,54	0,918	0,55	0,395	0,56	0,95
50	0,357	0,606	0,364	0,618	0,371	0,63	0,378	0,642	0,385	0,654	0,392	0,667
70	0,225	0,433	0,26	0,442	0,265	0,45	0,27	0,459	0,275	0,468	0,28	0,476
95	0,188	0,319	0,192	0,325	0,195	0,332	0,199	0,338	0,203	0,345	0,206	0,351
120	0,149	0,253	0,152	0,258	0,158	0,263	0,158	0,268	0,161	0,273	0,163	0,278
150	0,119	0,202	0,121	0,206	0,124	0,21	0,126	0,214	0,128	0,218	0,131	0,222
185	0,097	0,164	0,098	0,167	0,10	0,171	0,102	0,174	0,104	0,177	0,106	0,180
240	0,074	0,126	0,076	0,129	0,077	0,131	0,079	0,134	0,08	0,136	0,082	0,139
300	0,0595	0,101	0,0607	0,103	0,0618	0,105	0,0630	0,107	0,041	0,109	0,0653	0,111
400	0,0446	0,0758	0,0455	0,0773	0,0463	0,0788	0,0472	0,0804	0,0481	0,0919	0,0489	0,0834

Tabelul 3.36 (continuare)

Secțiunea conductorului [mm²]	Temperatura conductorului									
	50°C		55°C		60°C		65°C		70°C	
	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al
1,5	13,3	—	13,5	—	13,8	—	14,0	—	14,2	—
2,5	7,98	13,6	8,11	13,8	8,25	14,0	8,39	14,3	8,53	14,5
4	4,98	8,49	5,07	8,6	5,16	8,79	5,24	8,94	5,33	9,1
6	3,32	5,66	3,38	5,76	3,44	5,86	3,50	5,96	3,56	6,06
10	2,00	3,39	2,03	3,45	2,06	3,51	2,10	3,58	2,13	3,64
16	1,25	2,12	1,27	2,16	1,29	2,20	1,31	2,23	1,33	2,27
25	0,798	1,36	0,811	1,38	0,825	1,40	0,839	1,43	0,853	1,46
35	0,57	0,970	0,580	0,987	0,589	1,00	0,60	1,02	0,609	1,04
50	0,399	0,679	0,406	0,691	0,413	0,703	0,42	0,715	0,427	0,727
70	0,285	0,485	0,29	0,494	0,295	0,502	0,30	0,511	0,303	0,52
95	0,21	0,357	0,214	0,264	0,217	0,370	0,221	0,376	0,225	0,383
120	0,166	0,283	0,169	0,288	0,172	0,293	0,175	0,299	0,178	0,304
150	0,133	0,226	0,135	0,23	0,138	0,234	0,14	0,238	0,142	0,242
185	0,108	0,184	0,110	0,187	0,112	0,19	0,113	0,194	0,115	0,197
240	0,083	0,141	0,085	0,144	0,086	0,146	0,087	0,149	0,089	0,151
300	0,0665	0,115	0,0676	0,151	0,0688	0,117	0,0699	0,119	0,0711	0,121
400	0,0498	0,0849	0,0507	0,0864	0,0516	0,0879	0,0524	0,0894	0,0533	0,091

Tabelul 3.37

Reactanța inductivă a cablurilor cu izolație de hîrtie, în manta, cu 3/neutru și 4 conductoare, tensiunea de 0,6/1 kV

Numărul și secțiunea conductorului	X_0 [Ω/km]	Numărul și secțiunea conductorului	X_0 [Ω/km]	Numărul și secțiunea conductorului	X_0 [Ω/km]
3×26/16	0,292	3×240/120	0,082	4×95	0,086
3×35/16	0,090	3×300/150	0,081	4×120	0,085
3×50/25	0,087	3×400/185	0,080	4×150	0,086
3×70/25	0,085	4×16	0,099	4×185	0,085
3×95/50	0,084	4×25	0,094	4×240	0,084
3×120/70	0,083	4×35	0,092	4×300	0,084
3×150/70	0,084	4×50	0,090	4×400	0,083
3×185/95	0,083	4×70	0,087	—	—

În tabelele 3.37, 3.38, 3.39 și 3.40 sînt date valorile lui X_0 în funcție de secțiunea conductorului, tipul constructiv al cablului și tensiunea nominală dată sub forma raportului U_{nf}/U_n.

Tabelul 3.38

Reactanța inductivă a cablurilor în manta, cu trei conductoare, tensiunea de 0,6/1...5,8/10 kV

Numărul și secțiunea conductorului [mm²]	0,6/1 kV	3,5/6 km	5,8/10 kV	Numărul și secțiunea conductorului [mm²]	0,6/1 kV	3,5/6 kV	5,8/10 kV
	X_0 [Ω/km]	X_0 [Ω/km]	X_0 [Ω/km]		X_0 [Ω/km]	X_0 [Ω/km]	X_0 [Ω/km]
3×6	0,102	0,144	—	3×95	0,077	0,093	0,098
3×10	0,095	0,133	0,142	3×120	0,077	0,091	0,095
3×16	0,090	0,123	0,132	3×150	0,077	0,088	0,092
3×25	0,086	0,111	0,122	3×185	0,076	0,086	0,090
3×35	0,083	0,106	0,112	3×240	0,076	0,085	0,088
3×50	0,081	0,100	0,106	3×300	0,075	0,083	0,086
3×70	0,079	0,096	0,101	3×400	0,075	0,081	—

Tabelul 3.39

Reactanța inductivă a cablurilor ecranate de 3,5/6 kV și 5,8/10 kV

Numărul și secțiunea conductorului [mm²]	3,5/6 kV	5,8/10 kV	Numărul și secțiunea conductorului [mm²]	3,5/6 kV	5,8/10 kV
	X_0 [Ω/km]	X_0 [Ω/km]		X_0 [Ω/km]	X_0 [Ω/km]
$3\times 10 r_e$	0,134	0,143	$3\times 700 r_m$ sau s_m	0,096	0,102
$3\times 16 r_e$ sau s_e	0,124	0,132	$3\times\ 95 r_m$ sau s_m	0,092	0,098
$3\times 25 r_e$ sau s_e	0,116	0,123	$3\times 120 r_m$ sau s_m	0,090	0,094
$3\times 35 r_e$ sau s_e	0,110	0,118	$3\times 120 r_m$ sau s_m	0,088	0,092
$3\times 25 r_m$ sau s_m	0,111	0,118	$3\times 185 r_m$ sau s_m	0,086	0,031
$3\times 35 r_m$ sau s_m	0,106	0,113	$3\times 240 r_m$ sau s_m	0,084	0,088
$3\times 50 r_m$ sau s_m	0,100	0,107	$3\times 300 r_m$ sau s_m	0,083	0,086

Reactanța de secvență homopolară a cablurilor nearmate, este dată de relația [5]

$$X_{0h} = 0{,}4335 \lg \frac{d_p}{\rho_e} \quad [\Omega/\text{km}]. \tag{3.52}$$

Conductanța este determinată de pierderile de putere ce au loc în dielectricul ce constituie izolația cablului și sînt caracterizate de tangenta unghiului de pierderi

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_a}{I_c}, \tag{3.53}$$

în care I_a este curentul activ al cablului, iar I_c — curentul capacitiv, în A. tgδ are valori de 0,002 ... 0,008, pe care le păstrează pînă la tensiunea de 1,5 U_n.

Tabelul 3.40

Reactanța inductivă a cablurilor ecranate de 11,206/20 kV și 17,3/30 kV

Numărul și secțiunea conductoarelor [mm²]	11,6/20 kV	17,3/30 kV	Numărul și secțiunea conductoarelor [mm²]	11,6/20 kV	17,3/30 kV
	X_0 [Ω/km]	X_0 [Ω/km]		X_0 [Ω/km]	X_0 [Ω/km]
$3\times 16 r_e$	—	—	$3\times 120 r_m$ sau s_m	0,350	0,121
$3\times 25 r_e$	0,470	—	$3\times 150 r_m$ sau s_m	0,340	0,116
$3\times 35 r_e$	0,445	0,154	$3\times 185 r_m$ sau s_m	0,330	0,118
$3\times 50 r_m$ sau s_m	0,400	0,138	$3\times 240 r_m$ sau s_m	0,320	0,108
$3\times 70 r_m$ sau s_m	0,380	0,130	$3\times 300 r_m$ sau s_m	0,310	0,105
$3\times 95 r_m$ sau s_m	0,360	0,125	—	—	—

Notațiile din tabelele de mai sus au următoarele semnificații:

r_e — conductor rotund monofilar;
r_m — conductor rotund multifilar;
s_e — conductor sector monofilar;
s_m — conductor sector multifilar;
r_{mv} — conductor rotund, împletit, comprimat în timpul împletirii.

Pierderile de putere activă în dielectricul cablului pe unitatea de lungime se calculează cu relația :

$$\Delta P_0 = 2\pi f \cdot U_n^2 \cdot S_{s0} \cdot \mathrm{tg}\,\delta \quad [\mathrm{W/km}], \tag{3.54}$$

în care : U_n este tensiunea nominală de linie a cablului, în V ;
C_{s0} — capacitatea de serviciu a cablului, în F/km.

Pentru cabluri obișnuite, cu izolația de hîrtie, la tensiuni pînă la 35 kV, aceste pierderi au valori neglijabile ; în schimb la cabluri de 110 ÷ 220 kV, pierderile în izolație pot avea valori pînă la 10 kW/km de linie și vor trebui luate în considerare.

Conductanța cablului se determină cu relația :

$$G_0 = \frac{\Delta P_0}{U_n^2} \quad [\mathrm{S/km}]. \tag{3.55}$$

Susceptanța capacitivă se calculează cu relația

$$B_0 = \omega \cdot C_{s0} \cdot 10^{-6} \quad [\mathrm{S/km}]. \tag{3.56}$$

În cazul liniilor în cablu, capacitatea este mult mai mare decît la LEA și din acest motiv curenții capacitivi la liniile în cablu trebuie luați în considerare de la tensiunea de 10 kV.

Curentul capacitiv datorat susceptanței capacitive este

$$I_c = \frac{U_n}{\sqrt{3}} \cdot B_0 \quad [\mathrm{A/km}]. \tag{3.57}$$

În tabelele 3.41, 3.42, 3.43 și 3.44 sînt indicate valorile capacităților de serviciu pentru diferite tipuri constructive de cabluri și tensiuni.

Tabelul 3.41

Capacitatea de serviciu a cablurilor în manta cu izolație de hîrtie, tensiune 0,6/1 kV

Secțiunea conductoarelor [mm²]	Capacitatea de serviciu [μF/km]	Secțiunea conductoarelor [mm²]	Capacitatea de serviciu [μF/km]
$2 \times 1{,}4r_e$	0,105	$3 \times 6r_e$	0,295
$2 \times 2{,}5r_e$	0,125	$3 \times 10r_e$	0,355
$2 \times 4r_e$	0,140	$3 \times 16r_e$	0,390
$2 \times 6r_e$	0,155	$3 \times 16r_e$	0,520
$2 \times 10r_e$	0,180	$3 \times 25r_m$	0,560
$2 \times 16r_e$	0,200	$3 \times 35s_m$	0,630
$2 \times 25s_m$	0,325	$3 \times 50s_m$	0,820
$2 \times 35s_m$	0,350	$3 \times 70s_m$	0,910
$2 \times 50s_m$	0,400	$3 \times 95s_m$	1,040
$2 \times 70s_m$	0,470	$3 \times 120s_m$	1,160
$2 \times 95s_m$	0,540	$3 \times 150s_m$	1,110
$2 \times 120s_m$	0,600	$3 \times 185s_m$	1,210
$3 \times 15r_e$	0,195	$3 \times 240s_m$	1,180
$3 \times 2{,}5r_e$	0,225	$3 \times 300s_m$	1,290
$3 \times 4r_e$	0,270	—	—

Notă. Valorile indicate pentru cablurile cu trei conductoare se pot aplica și pentru cablurile cu 3/neutru și 4 conductoare.

Tabelul 3.42

Capacitatea de serviciu a conductorului și curentul capacitiv la sarcină trifazată simetrică pentru cabluri în manta, cu izolație de hîrtie, pentru tensiunile 3,5/6 kV pînă la 11,6/20 kV

Tensiunea nominală	Numărul și secțiunea conductoarelor [mm²]	Capacitatea de serviciu [μF/km]	Curentul capacitiv [A/km]	Tensiunea nominală	Numărul și secțiunea conductoarelor [mm²]	Capacitatea de serviciu [μF/km]	Curentul capacitiv [A/km]
3,5/6 kV	$3\times 10r_e$	0,19	0,207	5,8/10 kV	$3\times 35s_m$	0,29	0,525
	$3\times 16r_e$	0,215	0,234		$3\times 50s_m$	0,35	0,634
	$3\times 25r_e$	0,255	0,278		$3\times 70s_m$	0,385	0,700
	$3\times 25s_e$	0,275	0,300		$3\times 95s_m$	0,43	0,780
	$3\times 35s_e$	0,33	0,360		$3\times 120s_m$	0,46	0,833
	$3\times 25s_e$	0,285	0,311		$3\times 150s_m$	0,54	0,930
	$3\times 35s_e$	0,33	0,360		$3\times 185s_m$	0,56	1,010
	$3\times 50s_m$	0,385	0,420		$3\times 240s_m$	0,67	1,211
	$3\times 70s_m$	0,44	0,480		$3\times 300s_m$	0,69	1,250
	$3\times 95s_m$	0,47	0,512	11,6/20 kV	$3\times 25r_e$	0,165	0,590
	$3\times 120s_m$	0,55	0,600		$3\times 35sr_e$	0,18	0,652
	$3\times 150s_m$	0,58	0,630		$3\times 50r_e$	0,20	0,725
	$3\times 185s_m$	0,66	0,720		$5\times 70r_e$	0,24	0,870
	$3\times 240s_m$	0,71	0,775		$3\times 95s_m$	0,26	0,943
	$3\times 300s_m$	0,74	0,805		$3\times 120s_m$	0,29	1,050
5,8/10 kV	$3\times 10r_e$	0,165	0,300		$3\times 150s_m$	0,31	1,120
	$3\times 16r_e$	0,20	0,362		$3\times 185s_m$	0,33	1,200
	$3\times 25r_e$	0,23	0,416		$3\times 240s_m$	0,37	1,340
	$3\times 25s_e$	0,26	0,470		—	—	—

Tabelul 3.43

Capacitatea de serviciu a conductorului și curentul capacitiv la sarcină trifazată simetrică, pentru cabluri cu circulație internă de ulei de 110 și 220 kV

Secțiunea conductorului [mm²]	110 kV		220 kV	
	Capacitatea de serviciu [μF/km]	Curentul capacitiv [A/km]	Capacitatea de serviciu [μF/km]	Curentul capacitiv [A/km]
185	0,27	5,4	0,186	7,42
240	0,29	5,8	0,195	7,78
300	0,31	6,2	0,204	8,15
400	0,35	7,0	0,218	8,70
500	0,37	7,4	0,245	9,77
620	0,43	8,5	0,259	10,35
800	0,46	9,2	0,279	11,10
1000	0,50	9,9	0,295	11,8
1400	0,62	12,4	—	—

Capacitatea de serviciu a conductorului și curentul capacitiv la sarcină trifazată simetrică pentru cabluri cu cîmp radial ecranate, cu izolație de hîrtie, pentru tensiunile 3,5/6 pînă la 11,6/20 kV

Tensiunea nominală	Numărul și secțiunea conductoarelor [mm²]	Capacitatea de serviciu [μF/km]	Curentul capacitiv [A/km]	Tensiunea nominală	Numărul și secțiunea conductoarelor [mm²]	Capacitatea de serviciu [μF/km]	Curentul capacitiv [A/km]
3,5/6 kV	$3\times 6r_e$	0,20	0,22	5,8/10 kV	$3\times 95r_m$	0,48	0,87
	$3\times 10r_e$	0,23	0,25		$3\times 120r_m$	0,53	0,96
	$3\times 16r_e$ sau s_e	0,27	0,29		$3\times 150r_m$	0,58	1,05
	$3\times 25r_e$ sau s_e	0,32	0,35		$3\times 185r_m$	0,635	1,15
	$3\times 35r_e$ sau s_e	0,36	0,39		$3\times 240r_m$	0,715	1,30
	$3\times 25r_m$ sau s_m	0,335	0,37		$3\times 300r_m$	0,79	1,43
	$3\times 35r_m$ sau s_m	0,38	0,41	11,6/20 kV	$3\times 25r_m$	0,22	0,80
	$3\times 50r_m$ sau s_m	0,44	0,48		3×35	0,245	0,89
	$3\times 70r_m$ sau s_m	0,50	0,54		$3\times 35r_m$	0,265	0,96
	$3\times 95r_m$ sau s_m	0,565	0,61		$3\times 50r_m$	0,30	1,09
	$3\times 120r_m$ sau s_m	0,625	0,68		$3\times 70r_m$	0,335	1,22
	$3\times 150r_m$ sau s_m	0,69	0,75		$3\times 95r_m$	0,37	1,34
	$3\times 185r_m$ sau s_m	0,76	0,83		$3\times 120r_m$	0,405	1,47
	$3\times 240r_m$ sau s_m	0,86	0,93		$3\times 150r_m$	0,445	1,61
	$3\times 300r_m$ sau s_m	0,95	1,03		$3\times 185r_m$	0,48	1,74
5,8/10 kV	$3\times 10r_e$	0,205	0,37		$3\times 240r_m$	0,53	1,89
	$3\times 16r_e$	0,24	0,44		$3\times 300r_m$	0,58	2,10
	$3\times 25r_e$	0,275	0,50		$3\times 70r_m/v$	0,325	1,18
	$3\times 35r_e$	0,315	0,57		$3\times 95rs_e/3f$	0,35	1,27
	$3\times 25r_m$	0,29	0,53		$3\times 120rs_e/3f$	0,375	1,36
	$3\times 35r_m$	0,325	0,59		$3\times 150rs_e/3f$	0,405	1,47
	$3\times 50r_m$	0,375	0,68		$3\times 185rs_e/3f$	0,44	1,60
	$3\times 70r_m$	0,43	0,78		$3\times 240rs_e/3f$	0,485	1,76

Observație — $rs_e/3f$ — miezul conductor compus din trei conductoare sub formă de sector și acoperit cu un strat de sîrmă plată profilată.

3.6.4. PIERDERILE DE PUTERE, ENERGIE ȘI TENSIUNE ÎN LINIILE ELECTRICE TRIFAZATE

Nivelul pierderilor de energie în rețele variază între 10% și 15% din energia produsă în centrale, în funcție de structura rețelei, de condițiile de exploatare etc.

În rețelele electrice cu tensiuni nominale pînă la 60 kV, pierderile de energie sînt datorate aproape exclusiv încărcării conductoarelor la trecerea curentului electric. La tensiuni nominale de 110 kV sau mai ridicate, se mai adaugă și pierderile datorate scurgerilor de curent în izola-

ţie şi prin efect corona. Acestea din urmă însă au valori reduse şi pot fi neglijate încă din faza de proiectare a reţelelor, prin alegerea corespunzătoare a diametrului conductoarelor şi a nivelului de tensiune.

Reducerea pierderilor de energie trebuie să fie o preocupare permanentă a celor care proiectează şi exploatează instalaţiile electrice de transport, distribuţie şi utilizare la consumator.

Determinarea pierderilor de energie electrică se va face ţinînd seama de variaţia în timp a sarcinii consumatorilor.

Pentru determinarea *duratei pierderilor maxime* τ, se utilizează curba de variaţie a pătratului curentului cerut de consumator. Suprafaţa delimitată de această curbă şi axele de coordonate reprezintă la o anumită scară, cantitatea de energie pierdută în intervalul de timp t_c. Dacă transportul energiei electrice s-ar fi făcut la o sarcină constantă egală cu sarcina maximă permanentă I_M, aceeaşi cantitate de energie s-ar fi putut pierde într-un interval de timp mai redus τ, adică:

$$\int_0^{t_c} I^2 \cdot \mathrm{d}t = I_M^2 \cdot \tau, \tag{3.58}$$

de unde rezultă:

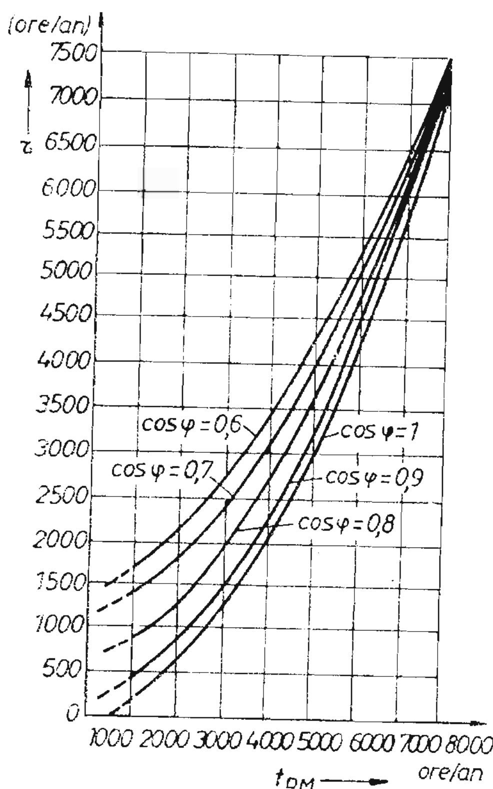


Fig. 3.18. Variaţia timpului de pierderi τ în funcţie de durata de utilizare a puterii maxime t_{PM}.

$$\tau = \frac{\int_0^{t_c} I^2 \cdot \mathrm{d}t}{I_M}. \tag{3.59}$$

Mărimea τ se numeşte *timpul* sau *durata pierderilor maxime* (prescurtat *timpul pierderilor*) şi reprezintă timpul convenţional în care instalaţia, funcţionînd la sarcină maximă constantă are aceleaşi pierderi de energie ca şi în cazul în care ar funcţiona după curba de sarcină reală.

Între timpul de utilizare al puterii maxime t_{PM} şi timpul pierderilor τ este stabilită o legătură prin intermediul curbelor de sarcină. În felul acesta se pot construi curbe care pot fi folosite pentru determinarea timpului de pierderi, atunci cînd se cunosc t_{PM} şi cos φ (fig. 3.18).

1. *Pierderile de putere şi de energie în liniile electrice*

Pierderile de putere activă în rezistenţa liniei:

$$\Delta P_R = 3R_l I_l^2 \cdot 10^{-3} \ [\mathrm{kW}], \tag{3.60}$$

în care: I_l este curentul de calcul corespunzător puterii cerute în A;
R_l — rezistența unei faze, la temperatura efectivă a liniei, în Ω.

Deoarece:

$$I_l^2 = \frac{S_l^2}{3U_n^2}, \tag{3.61}$$

relația (3.60) se poate scrie și sub forma:

$$\Delta P_R = \frac{P_l^2 + Q_l^2}{U_n^2} \cdot R_l \text{ [MW]},$$

în care: P_l și Q_l sînt puterile cerute active și reactive vehiculate prin linie, în kW, respectiv în kvar;
U_n — tensiunea nominală a liniei, în kV.

Pierderile de putere reactivă în reactanța inductivă a liniei sînt:

$$\Delta Q_X = 3 \cdot X_l \cdot I_l^2 \cdot 10^{-3} \text{ [kvar]}, \tag{3.62}$$

în care X_l este reactanța unei faze a liniei, în Ω.

Cu relația (3.61), relația (3.62) devine:

$$\Delta Q_X = \frac{P_l^2 + Q_l^2}{U_n^2} \cdot X_l \text{ [Mvar]}. \tag{3.63}$$

Pierderile de putere activă în conductanța liniei

$$\Delta P_G = U_n^2 \cdot G_l \text{ [MW]}. \tag{3.64}$$

Pierderile de putere reactivă în susceptanța capacitivă a liniei

$$\Delta Q_C = U_n^2 \cdot B_l \text{ [Mvar]}. \tag{3.65}$$

Cînd puterea absorbită de consumator este constantă, pierderile de energie activă au valoarea:

$$\Delta E_{al} = \Delta P_l \cdot t = (\Delta P_R + \Delta P_G) \cdot t = \\ = \left(\frac{P_l^2 + Q_l^2}{U_n^2} \cdot R_l + U_n^2 G_l\right) \cdot t \text{ [MWh]}, \tag{3.66}$$

în care s-au notat cu ΔP_l pierderile totale de putere activă în linie.

Pierderile de energie reactivă sînt

$$\Delta E_{rl} = \Delta Q_l \cdot t = (\Delta Q_X + \Delta Q_C) \cdot t = \\ = \left(\frac{P_l^2 + Q_l^2}{U_n^2} \cdot X_l + U_n^2 B_l\right) \cdot t \text{ [Mvarh]}. \tag{3.67}$$

Cînd puterea absorbită este variabilă în timp, pierderea de energie activă într-un ciclu este

$$\Delta E_{ai} = \int_0^{t_c} \Delta P_i \cdot dt = \int_0^{t_c} \frac{P_i^2 + Q_i^2}{U_n^2} R_i dt + U_n^2 G_i t_c. \qquad (3.68)$$

Pentru a evita efectuarea integralei se folosește durata τ a pierderilor

$$\Delta E_{ai} = \frac{P_{Mi}^2 + Q_{Mi}^2}{U_n^2} R_i \tau + U_n^2 G_i t_c. \qquad (3.69)$$

În același mod

$$\Delta E_{ri} = \frac{P_{Mi}^2 + Q_{Mi}^2}{U_n^2} X_i \tau + U_n^2 B_i t_c.$$

2. *Pierderile de tensiune în liniile electrice trifazate*

Pierderea totală de tensiune într-o linie electrică trifazată se calculează cu relația:

$$\Delta U_i = \frac{P_i R_i + Q_i X_i}{U_m} \text{ [kV]}, \qquad (3.70)$$

în care: P_i, Q_i sînt puterile activă, respectiv reactivă cerute, în MW respectiv Mvar;

R_i, X_i — rezistența, respectiv reactanța liniei, în Ω;

U_n — tensiunea nominală a liniei, în kV.

Forme particulare ale relației (3.70) sînt date în tabelul 4.38.

3.6.5. PIERDERILE DE TENSIUNE, PUTERE ȘI ENERGIE ÎN TRANSFORMATOARELE TRIFAZATE DE PUTERE

Pierderea de tensiune în transformatorul trifazat cu două înfășurări este dată de relația:

$$\Delta U_T = \frac{P_T R_T + Q_T X_T}{U_{1m}} \text{ [kV]}, \qquad (3.71)$$

în care: P_T, Q_T reprezintă puterile activă, respectiv reactivă vehiculate prin transformator, în MW, respectiv Mvar;

R_T, X_T — rezistența, respectiv reactanța transformatorului, în Ω;

U_{1n} — tensiunea nominală primară a transformatorului, în kV.

Pierderile de putere în transformatorul trifazat cu două înfășurări

Pierderile de putere sînt active și reactive și se produc în materialul con-

ductor al înfăşurărilor (ΔP_{sc}, ΔQ_{sc}) şi în fierul circuitului magnetic (ΔP_0 şi ΔQ_0); ele sînt date de relaţiile :

$$\Delta P_T = \Delta P_0 + \Delta P_{sc}; \tag{3.72}$$

$$\Delta Q_T = \Delta Q_0 + \Delta Q_{sc}.$$

La sarcină nominală, pierderile de putere la scurtcircuit sînt

$$\Delta P_{sc_n} = \frac{S_n^2}{U_n^2} \cdot R_T \text{ şi } \Delta Q_{sc_n} = \frac{U_{sc}}{100} \cdot S_n \tag{3.73}$$

cu U_{sc} în procente.

La o sarcină S diferită de cea nominală, notînd $\alpha = \frac{S}{S_n}$,

$$\Delta P_{sc} = \alpha^2 \cdot \Delta P_{sc_n} \text{ şi } \Delta Q_{sc} = \alpha^2 \cdot \Delta Q_{sc_n}. \tag{3.74}$$

Pierderile de putere reactivă în fierul transformatorului sînt egale cu puterea de magnetizare la mersul în gol :

$$\Delta Q_0 = \frac{I_0}{100} \cdot S_n, \tag{3.75}$$

cu I_0 în procente.

Pierderile totale de putere în transformator sînt :

$$\Delta P_T = \Delta P_0 + \alpha^2 \cdot \Delta P_{sc_n} \tag{3.76}$$

şi

$$\Delta Q_T = \Delta Q_0 + \alpha^2 \frac{U_{sc}}{100} \cdot S_n.$$

Pierderile de energie activă în transformatorul trifazat cu două înfăşurări, sînt :

$$\Delta E_{aT} = \int_0^{t_s} \Delta P_T \cdot dt = \Delta P_0 \cdot t_s + \alpha_M^2 \Delta P_{sc_n} \cdot \tau; \tag{3.77}$$

pierderile de energie reactivă sînt

$$\Delta E_{rT} = \int_0^{t} \Delta Q_T \cdot dt = \Delta Q_0 \cdot t_s + \alpha_M^2 \cdot \Delta Q_{sc_n} \cdot \tau; \tag{3.78}$$

în aceste relaţii : $\alpha_M = \frac{S_M}{S_n}$ este coeficientul de încărcare maximă a transformatorului ;

S_M — sarcină maximă cerută.

Observaţii. *1.* În cazul în care în staţia de transformare sînt în funcţiune mai multe transformatoare, pentru calculul pierderilor de putere este necesar să se cunoască repartiţia sarcinii între transformatoare, regimul şi durata de funcţionare corespunzătoare fiecărui transformator.

2. La funcționarea identică a n transformatoare în paralel, pierderile totale de putere sînt:

$$(\Delta P_n) = n \cdot \Delta P_0 + \frac{\alpha^2}{n} \cdot \Delta P_{sc}, \tag{3.79}$$

unde coeficientul de încărcare corespunde curentului total, adică:

$$\alpha = \frac{S_t}{S_n} = \frac{I_t}{I_n}. \tag{3.80}$$

3.6.6. CRITERII TEHNICO-ECONOMICE PENTRU ALEGEREA SECȚIUNII CONDUCTOARELOR LINIILOR ELECTRICE

Secțiunea conductoarelor și cablurilor se determină ținînd seama de următoarele restricții tehnice:

— încălzirea în regim de lungă durată, ca urmare a efectului termic al curentului de calcul;

— încălzirea în regimuri forțate de scurtă durată ca urmare a efectului termic al curenților de scurtcircuit și al curenților de pornire ai motoarelor electrice;

— căderea de tensiune în regimuri de avarie;

— rezistență mecanică — stabilitate la sarcini mecanice (greutatea proprie, vînt, chiciură etc);

— pierderi prin efect corona.

Condițiile obligatorii de dimensionare corespunzătoare acestor restricții tehnice sînt sintetizate în tabelul 3.45.

Secțiunea obținută prin calcul, pe baza restricțiilor tehnice, este secțiunea tehnică, S_t.

Pentru a asigura o funcționare economică în timp, este necesară în plus și respectarea unor restricții economice, în sensul realizării unui regim de funcționare economic, corespunzător unor cheltuieli totale minime pentru linia respectivă, într-o perioadă de funcționare dată.

Pentru aceasta se impune determinarea secțiunii economice și compararea acesteia cu secțiunea tehnică.

Tabelul 3.45

Restricții la alegerea secțiunii conductoarelor și cablurilor

Nr. crt.	Restricția	L.E.A.	L.E.C.
1	Încălzirea conductoarelor	x	x
2	Stabilitate termică la scurtcircuit	x[1]	x[2]
3	Densitatea de curent la pornirea motoarelor	—	x
4	Căderea de tensiune	x	x
5	Rezistența mecanică	x	—
6	Pierderi prin efect corona	x[1]	—

[1] obligatoriu la LEA cu $U_n > 110$ kV

[2] cu excepția circuitelor cu $U_n > 1$ kV, protejate prin siguranțe fuzibile.

Secțiunea S care se va adopta în final trebuie să fie cea mai mare din valorile rezultate pentru secțiunea tehnică S_t și secțiunea economică S_{ec}:

$$S = \max\,(S_t,\ S_{ec}). \tag{3.81}$$

În cazurile în care secțiunea economică rezultă a fi insuficientă din punct de vedere al criteriilor tehnice, se impune reanalizarea soluției de alimentare astfel încît, în condiții economice, să poată fi evitată adoptarea unei secțiuni mărite din cauza criteriilor tehnice.

În instalațiile de cabluri de 6—20 kV, dacă secțiunea tehnică impusă de condițiile de stabilitate termică la scurtcircuit depășește secțiunea economică, se vor lua măsuri pentru limitarea acțiunii curenților de scurtcircuit prin:

— instalarea de siguranțe limitatoare de curent cu acțiune instantanee;

— prevederea de instalații de protecție cu eliminarea rapidă a scurtcircuitului.

Alegerea secțiunii pe baza încălzării este prezentată în capitolul 4.

1. *Alegerea secțiunii pe baza pierderilor de tensiune*

Secțiunea conductoarelor se determină punînd condiția ca pierderea de tensiune între punctul de racord și pînă la ultimul receptor să nu depășească pierderea de tensiune maxim admisă, adică:

$$\Delta U \leqslant U_{adm}. \tag{3.82}$$

Valorile maxim admise ale căderii de tensiune sînt:

— în cazul alimentării directe din rețeaua de joasă tensiune a furnizorului:

2% pentru instalațiile de iluminat;

5% pentru instalațiile altor receptoare.

— în cazul alimentării de la posturi de transformare de abonat sau în centrale proprii:

8% pentru instalațiile de iluminat;

10% pentru instalațiile altor receptoare.

Relațiile de calcul sînt indicate în subcapitolul 4.14.

2. *Determinarea secțiunii economice a conductoarelor*

Secțiunea economică se determină pe baza unui calcul tehnico-economic; ea este dată de relația:

$$S_{ec} = \sqrt{\frac{3\rho I^2_{max}\left[\alpha^2 \cdot A \cdot \gamma + \beta' \sum_{i=1}^{n} \alpha_i^2 \tau_i (1 + a)^{-i}\right]}{K\left[1 - W_n (1 + a)^{-n}\right] \cdot 10^3}}\ [\mathrm{mm}^2] \tag{3.83}$$

în care: ρ este rezistivitatea conductorului, în Ωmm²/km;

I_{max} — sarcina maximă de calcul a liniei, în A;

A — cheltuielile totale actualizate, în lei/km;

γ — costul kW instalat în centrale de echivalare de bază, în lei/kW;

β' — costul unitar al energiei pierdute, în lei/kWh;

α_i — raportul dintre sarcină maximă în anul i și sarcina maximă de calcul I_{max};

τ_i — durată anuală echivalentă a pierderilor maxime din anul i, în ore/an;

a — rata de actualizare;
K — Panta de creştere a preţului unui kilometru de linie cu secţiunea, în lei/km · mm²;
W_n — cota valorii remanente, procent din valoarea de investiţii, în %;
n — perioada de analiză a liniei, în ani;

Cu ajutorul secţiunii economice, definită de relaţia (3.83), se introduce noţiunea de densitate economică de curent:

$$j_{ec} = \frac{I_{max}}{S_{ec}} \; [\text{A/mm}^2]. \tag{3.84}$$

Pe baza relaţiei (3.84) au fost stabilite valori normate pentru densitatea economică de curent, în funcţie de felul liniei, materialul conductor şi durata de utilizare a sarcinii maxime — tabelul 3.46.

Avînd densitatea economică de curent, secţiunea economică de calcul a liniilor electrice se determină cu relaţia:

$$S_{ec} = \frac{K_c \cdot I_{max}}{j_{ec}}, \tag{3.85}$$

în care: K_c este un coeficient de corecţie funcţie de costul tonei de combustibil marginal normat la momentul proiectării:

$$K_c = 1 - 0{,}012\,\frac{1950 - C}{100}, \text{ pentru } C \leqslant 1950 \text{ lei/tcc};$$

$$K_c = 1 + 0{,}008\,\frac{C - 1950}{100}, \text{ pentru } C > 1950 \text{ lei/tcc}.$$

Costul C normat la momentul proiectării pentru combustibilul marginal, se adoptă conform PE011, sau după caz, în conformitate cu circularele tehnice de reactualizare a acestui normativ;

I_{max} — sarcină maximă de calcul, în A.

a. *Stabilirea sarcinii maxime de calcul ţinînd seama de evoluţia sa în timp*

Sarcina maximă de calcul I_{max} se determină în funcţie de sarcină maximă din primul an de exploatare şi de evoluţia acesteia în următorii ani, în una din următoarele ipoteze:

S a r c i n a m a x i m ă n u v a r i a z ă în decursul perioadei de analiză faţă de sarcina maximă din primul an; în acest caz sarcina maximă de calcul se va considera însăşi valoarea sarcinii maxime din primul an.

S a r c i n a m a x i m ă c r e ş t e cu o rată anuală medie r în perioada primilor $t_r \leqslant 9$ ani, după anul de punere în funcţiune, valoarea plafon atinsă în final — I_{max_f} presupunîndu-se că se menţine în restul duratei de serviciu; sarcina maximă de calcul se determină cu relaţia:

$$I_{max} = K_r \cdot I_{max_1}, \tag{3.86}$$

în care: K_r este un coeficient funcţie de rata de creştere a sarcinii. (tab. 3.47);

I_{max_1} — sarcină maximă în primul an de exploatare.

Valorile normate ale densităților economice de curent J_{ec} în A/mm²

Tipul liniei	T [ore/an] 1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	K_j	S_{max} [mm²]
1	2							3	4
1. LEA cu conductoare din Al — valori medii pentru estimări		0,60		0,40		0,30			
— LEA j.t. 3 conductoare	0,64	0,50	0,41	0,34	0,29	0,25	0,22	1,88	95
— LEA j.t. conductoare torsadate	0,65	0,51	0,41	0,34	0,29	0,26	0,23	1,96	70
— LEA j.t. 4 conductoare	0,73	0,57	0,46	0,39	0,33	0,29	0,25	1,73	95
— LEA 20 kV	0,75	0,61	0,50	0,43	0,37	0,32	0,29	1,80	120
— LEA 110 kV	0,75	0,62	0,52	0,44	0,38	0,33	0,30	1,55	300
2. LEA cu conductoare din Cu — valorii medii pentru estimări		2,00		1,40		1,00			
— LEA j.t. 3 conductoare	2,23	1,75	1,42	1,18	1,01	0,88	0,78	1,21	70
— LEA j.t. 4 conductoare	2,57	2,02	1,64	1,37	1,17	1,02	0,90	1,16	70
— LEA 20 kV	2,48	2,02	1,68	1,42	1,22	1,07	0,95	1,26	70
— LEA 110 kV	2,57	2,13	1,78	1,52	1,31	1,15	1,03	1,09	300
3. LEC j.t. cu conductoare din Al — valori medii pentru estimări		0,70		0,45		0,35			
— LEC cu izolație din hîrtie	0,93	0,73	0,59	0,50	0,42	0,37	0,33	1,07	240
— LEC cu izolație sintetică	0,77	0,60	0,49	0,41	0,35	0,30	0,27	1,09	240
4. LEC j.t. cu conductoare din Cu — valori medii pentru estimări		1,90		1,25		0,95			
— LEC cu izolație din hîrtie	2,35	1,85	1,50	1,25	1,07	0,93	0,82	1,05	150
— LEC cu izolație sintetică	2,31	1,81	1,47	1,22	1,05	0,91	0,81	1,03	185
5. LEC 6—10 kV cu conductoare din Al — valori medii pentru estimări		0,70		0,50		0,40			
— LEC 6 kV cu izolație sintetică	0,82	0,67	0,56	0,47	0,41	0,36	0,32	1,29	240
— LEC 10 kV cu izolație sintetică	0,91	0,74	0,62	0,52	0,45	0,39	0,35	1,46	150
— LEC 6—10 kV cu izolație din hîrtie	0,88	0,72	0,59	0,50	0,43	0,38	0,34	1,45	150
6. LEC 6—10 kV cu conductoare din Cu — valori medii pentru estimări		2,00		1,40		1,00			
— LEC 6—10 kV cu izolație din hîrtie	2,42	1,98	1,64	1,39	1,20	1,05	0,93	1,12	150
7. LEC 20 kV cu conductoare din Al — valori medii pentru estimări		0,85		0,60		0,45			
— LEC 20 kV cu izolație sintetică	1,05	0,86	0,71	0,60	0,52	0,46	0,40	1,60	150

Tabelul 3.47

Valorile coeficientului K_r pentru stabilirea sarcinii maxime de calcul în funcție de rata anuală r

Rata r [%]	Numărul anilor de creștere t_r								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1,01	1,02	1,03	1,03	1,04	1,05	1,05	1,06	1,06
2	1,02	1,04	1,05	1,07	1,08	1,09	1,11	1,12	1,13
3	1,03	1,05	1,08	1,10	1,12	1,15	1,17	1,19	1,20
4	1,04	1,07	1,11	1,14	1,17	1,20	1,23	1,26	1,28
5	1,05	1,09	1,13	1,18	1,22	1,26	1,30	1,33	1,37
6	1,06	1,11	1,16	1,21	1,27	1,32	1,37	1,42	1,46
7	1,06	1,13	1,19	1,25	1,32	1,38	1,44	1,50	1,57
8	1,07	1,15	1,22	1,29	1,37	1,44	1,42	1,60	1,68
9	1,08	1,17	1,25	1,34	1,42	1,51	1,61	1,70	1,79
10	1,09	1,19	1,28	1,38	1,48	1,59	1,69	1,81	1,92
11	1,10	1,21	1,31	1,43	1,54	1,66	1,79	1,92	2,06
12	1,11	1,23	1,35	1,47	1,60	1,74	1,89	2,04	2,21
13	1,12	1,25	1,38	1,52	1,67	1,83	2,00	2,18	2,37
14	1,13	1,27	1,41	1,57	1,73	1,91	2,11	2,31	2,54
15	1,14	1,29	1,45	1,62	1,80	2,01	2,22	2,46	2,72
16	1,15	1,31	1,48	1,67	1,88	2,10	2,35	2,62	2,92
17	1,16	1,33	1,52	1,72	1,95	2,20	2,48	2,79	3,13
18	1,17	1,35	1,55	1,78	2,03	2,31	2,62	2,79	3,36
19	1,18	1,37	1,59	1,83	2,11	2,41	2,76	3,16	3,60
20	1,18	1,39	1,62	1,89	2,19	2,53	2,92	3,36	3,86

I d e m i p o t e z a anterioară, cu precizarea că în unul din cei 9 ani în care are loc creșterea treptată a sarcinii cu rata r și anume în anul t_s mai are loc o creștere suplimentară în salt, prin suprapunerea unei sarcini planificate I_{p1}; sarcina maximă de calcul se determină cu relația:

$$I_{max} = I_{max_1} \cdot K_{rs}, \tag{3.87}$$

în care: K_{rs} este un coeficient funcție de rata de creștere r și de valoarea relativă a saltului de sarcină în anul t_s în raport cu sarcina din primul an, I_{pl}/I_{max_1}, tabelul 3.48.

b. *Stabilirea sarcinii maxime de calcul în cazul liniilor radiale cu sarcini în derivație*

L i n i i c u s e c ț i u n e c o n s t a n t ă

— în ipoteza liniei cu secțiune constantă sarcină maximă echivalentă se determină cu:

$$I_{max_e} = \sqrt{\frac{I_1^2 \cdot l_1 + I_2^2 \cdot l_2 + \ldots + I_n^2 l_n}{L}}, \tag{3.88}$$

în care: $I_1, I_2, \ldots I_n$ sînt sarcinile derivație, în A;

$l_1, l_2, \ldots l_n$ — lungimile tronsoanelor de linie, în m;

$L = \sum_{i=1}^{n} l_i$ — lungimea totală a tronsonului.

Tabelul 3.48

Valorile coeficientului K_{rs} pentru stabilirea sarcinii maxime de calcul în funcţie de rata anuală şi o creştere planificată în salt I_{pl}

r (%)	$\frac{I_{pl}}{I_{max_1}}$	Coeficientul K_{rs} — Anul creşterii în salt t_s: 1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0	0,5	1,47	1,43	1,40	1,37	1,34	1,32	1,29	1,27	1,25
0	1,0	1,94	1,88	1,82	1,77	1,71	1,66	1,62	1,57	1,53
0	1,5	2,41	2,33	2,25	2,17	2,09	2,02	1,96	1,89	1,83
0	2,0	2,89	2,78	2,68	2,58	2,48	2,39	2,30	2,22	2,14
0	2,5	3,37	3,24	3,11	2,99	2,87	2,76	2,65	2,55	2,45
0	3,0	3,84	3,69	3,54	3,40	3,27	3,14	3,01	2,89	2,77
2	0,0	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13
2	0,5	1,60	1,57	1,54	1,51	1,48	1,46	1,43	1,41	1,39
2	1,0	2,07	2,01	1,96	1,91	1,85	1,81	1,76	1,71	1,67
2	1,5	2,54	2,46	2,39	2,31	2,24	2,17	2,10	2,03	1,97
2	2,0	3,02	2,92	2,82	2,72	2,63	2,53	2,45	2,36	2,28
2	2,5	3,50	3,37	3,25	3,13	3,02	2,91	2,80	2,69	2,59
2	3,0	3,98	3,83	3,69	3,55	3,41	3,28	3,15	3,03	2,91
4	0,0	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28
4	0,5	1,75	1,72	1,70	1,67	1,64	1,62	1,59	1,57	1,55
4	1,0	2,22	2,17	2,12	2,07	2,02	1,97	1,92	1,88	1,83
4	1,5	2,70	2,62	2,55	2,47	2,40	2,33	2,26	2,20	2,13
4	2,0	3,17	3,08	2,98	2,88	2,79	2,70	2,61	2,53	2,44
4	2,5	3,65	3,53	3,41	3,30	3,18	3,07	2,97	2,86	2,76
4	3,0	4,13	3,99	3,85	3,71	3,58	3,45	3,32	3,20	3,07
6	0,0	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46
6	0,5	1,93	1,91	1,88	1,85	1,83	1,81	1,78	1,76	1,73
6	1,0	2,40	2,35	2,30	2,26	2,21	2,16	2,11	2,07	2,02
6	1,5	2,88	2,80	2,73	2,66	2,59	2,52	2,46	2,39	2,32
6	2,0	3,35	3,26	3,16	3,07	2,98	2,89	2,81	2,72	2,63
6	2,5	3,83	3,71	3,60	3,49	3,38	3,27	3,16	3,05	2,95
6	3,0	4,31	4,17	4,03	3,90	3,77	3,64	3,51	3,39	3,26

— în cazul liniilor cu derivaţii, secţiunea economică a acestora va fi corespunzătoare sarcinii maxime transportate prin ele; se admite utilizarea pe derivaţii a aceleaşi secţiuni ca şi a liniei, în care caz se determină sarcina maximă de calcul corespunzător fiecărei derivaţii cu relaţia (3.88).

L i n i i c u s e c ţ i u n e v a r i a b i l ă

Secţiunea economică se va calcula pentru fiecare tronson în parte sau pe grupe de tronsoane. Se recomandă dimensionarea unei secţiuni economice distincte pentru porţiunea iniţială a liniei, în copunerea acesteia urmînd a fi luate în considerare primul sau primele cîteva tronsoane prin care sînt transportate sarcinile cu valorile cele mai ridicate.

3.7. CALCULUL CURENȚILOR DE SCURTCIRCUIT

3.7.1. NOȚIUNI GENERALE. METODE DE CALCUL

Prin *scurtcircuit* se înțelege contactul accidental fără rezistență, sau printr-o rezistență de valoare relativ mică, a două sau mai multor conductoare aflate sub tensiune.

Dintre cauzele scurtcircuitelor, se amintesc: deterioararea izolației instalației electrice; ruperea conductoarelor liniilor sub acțiunea sarcinilor mecanice; atingerea conductoarelor neizolate (LEA) de către păsări sau animale; manevre greșite în timpul exploatării.

Valoarea curenților de scurtcircuit depinde de:

— puterea surselor care alimentează scurtcircuitul;

— distanța dintre sursă și locul de scurtcircuit, adică impedanța echivalentă a circuitului electric cuprins între sursă și locul scurtcircuitului;

— timpul scurs de la momentul apariției scurtcircuitului;

— tipul scurtcircuitului (monofazat, bifazat, trifazat).

Valoarea ridicată a curentului de scurtcircuit provoacă:

— creșterea căderilor de tensiune în toate impedanțele pe care le parcurge, determinînd o scădere generală a tensiunii în sistem;

— deterioarea utilajului electric prin efectele sale termice și electrodinamice.

Eliminarea sau atenuarea consecințelor negative ale curenților de scurtcircuit se poate realiza prin folosirea unui sistem adecvat de protecții prin relee, care trebuie să funcționeze corect și selectiv.

Calculul curenților de scurcircuit este necesar pentru:

— verificarea elementelor componente ale instalațiilor electrice la stabilitatea termică și dinamică; alegerea și reglarea instalațiilor de protecție prin relee.

În instalațiile electroenergetice pot avea loc patru tipuri de scurtcircuite.

Scurtcircuitul *trifazat* (simetric) — produce cele mai mari solicitări electrodinamice și în majoritatea cazurilor, cele mai periculoase solicitări termice. Datorită acestui fapt, acest tip de scurtcircuit se ia ca bază pentru:

— alegerea aparatajului primar și a căilor de curent;

— verificarea tensiunii la barele stațiilor electrice de transformare.

Scurtcircuitele *bifazate* și *monofazate* (asimetrice) — stau la baza alegerii protecției prin relee și a calculului instalațiilor de legare la pămînt de protecție.

Calculul curenților de scurtcircuit pentru proiectarea instalațiilor electroenergetice trebuie efectuat în ipoteza perspectivei de dezvoltare în următorii 7—10 ani.

Trecerea unui sistem energetic de la regimul normal de funcționare la regimul de scurtcircuit alimentat de un generator prevăzut cu RAT (regulator automat de tensiune), este arătată în figura 3.19.

Scurtcircuitul este un regim tranzitoriu în care apar componentele aperiodică i_{ap} și periodică i_p de scurtcircuit, urmat de un regim permanent de scurtcircuit, în care s-a stabilizat și acțiunea RAT. Procesul tranzitoriu pînă la stabilirea regimului permanent durează 3÷5 secunde. Modul de variație al curentului de scurtcircuit diferă după cum generatorul care

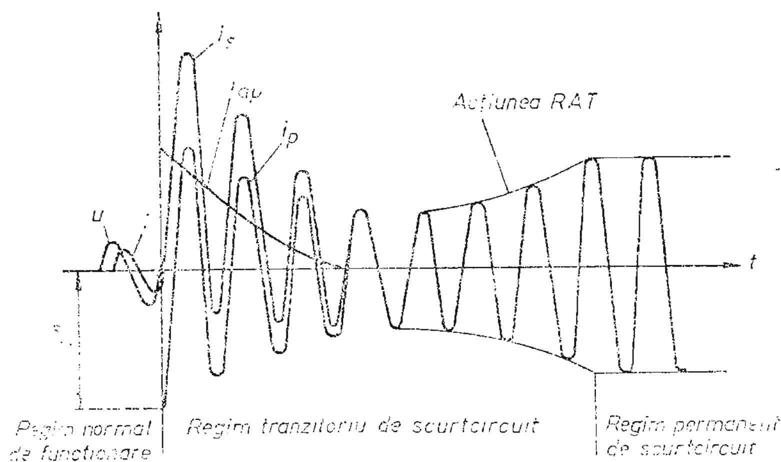


Fig. 3.19. Variaţia curentului de scurtcircuit în funcţie de timp.

alimentează scurtcircuitul este prevăzut sau nu cu RAT. În cazul generatoarelor fără RAT în perioada iniţială curentul creşte brusc, iar apoi scade treptat pînă la valoarea permanentă de scurtcircuit. În cazul cînd generatorul este prevăzut cu RAT, curentul de scurtcircuit scade sub valoarea de şoc ($i_ș$), iar apoi datorită creşterii t.e.m. a generatorului sub acţiunea RAT, curentul creşte, rămînînd în regim permanent, mai mare decît în cazul în care generatorul nu este prevăzut cu RAT (fig. 3.19). Acţiunea RAT se manifestă practic după $0{,}2 \div 0{,}3$ s.

Din figura 3.19, se poate observa că valoarea curentului de scurtcircuit rezultă în orice moment din suma vectorială a celor două componente i_p şi i_{ap}; valoarea eficace a curentului total de scurtcircuit este:

$$I_{sc_t} = \sqrt{I_p^2 + I_{ap}^2}. \tag{3.89}$$

Acest curent determină solicitarea termică a echipamentului instalaţiilor.

După 0,01 s $\left(\text{la } \frac{T}{2} \text{ în cazul } f = 50 \text{ Hz}\right)$, suma dintre i_p şi i_{ap} este maximă şi reprezintă valoarea maximă $i_ș$ a curentului. Valoarea maximă a acestui curent determină solicitările dinamice ale elementelor componente ale instalaţiilor.

Valoarea curentului de şoc depinde în primul rînd de faptul că rotorul generatorului este sau nu prevăzut cu înfăşurări de amortizare. Înfăşurările de amortizare determină creşterea curentului de şoc. Astfel la turbogeneratoare $I_ș = (18 \ldots 19)\ I_n$, iar la hidrogeneratoare $I_ș = (5 \ldots \ldots 8)\ I_n$.

Componenta aperiodică se anulează practic după 0,2 s şi componenta periodică va reprezenta curentul total de scurtcircuit în regim permanent.

Pentru mărimile care intervin în calculul curentului de scurtcircuit se vor folosi următoarele notaţii:

I_{sc0} — valoarea iniţială a componentei periodice;
$I_ș$ — valoarea eficace a curentului de şoc;
$I_{sc0,2}$ — valoarea eficace a curentului de scurtcircuit după 0,2 s;
I_{scp} — valoarea eficace a curentului permanent de scurtcircuit.

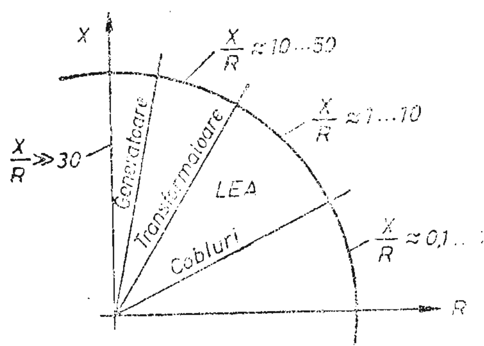


Fig. 3.20. Raportul X/R pentru diferite elemente de rețea.

Aproximații și premize de calcul în calculele practice de scurtcircuit:

— liniile electrice se reprezintă numai prin impedanța longitudinală;

— inpedanțele transformatoarelor și mașinilor sincrone au un caracter inductiv predominant, avînd un raport $\frac{X}{R} > 10$ (fig. 3.20); din această cauză în calculele practice se neglijează componenta rezistivă a impedanțelor;

— sarcinile electrice, reprezentate ca impedanțe transversale, se neglijează;

— reactanțele de secvență directă și inversă se consideră egale;

— elementele componente ale rețelei se consideră simetrice;

— în regim permanent, anterior defectului, se neglijează circulațiile de putere, ceea ce este echivalent cu neglijarea sarcinilor;

— circuitele electrice se consideră liniare ceea ce permite reprezentarea unor subrețele întregi prin impedanțe echivalente și aplicarea teoremei superpoziției.

Pentru calculul curenților de scurtcircuit se folosesc următoarele metode de bază:

a) metoda unităților relative;

b) metoda componentelor simetrice [13].

Prima metodă constituie un calcul operativ, dar aproximativ al curenților de scurtcircuit și se folosește la alegerea și verificarea instalațiilor electrice. Cea de-a doua metodă reprezintă un calcul exact al curenților de scurtcircuit și se folosește la reglarea protecțiilor din sistemul energetic.

3.7.2. ELEMENTE PENTRU CALCULUL CURENȚILOR DE SCURTCIRCUIT

În schema monofilară a circuitelor primare ale instalației electrice se vor indica:

— tipurile surselor de alimentare;

— denumirea generatoarelor;

— valorile medii ale tensiunilor;

— mărimile și parametrii caracteristici ai echipamentului electric.

Valorile medii ale tensiunilor de calcul în funcție de tensiunile nominale sînt date în tabelul 3.49.

Mărimile și parametrii caracteristici ai echipamentului, care se iau în considerare la calculul curenților de scurtcircuit, se indică în cele ce urmează.

Tabelul 3.49

Tensiunile medii de calcul

U_n [kV]	0,500	3	6	10	15	20	25	35	60	110	220	400
U_{med} [kV]	0,525	3,15	6,3	10,5	15,75	21	26,25	37	63	115	230	410

a. Pentru generatoare sincrone:
— puterea activă nominală P_{nG}, în MW;
— factorul de putere nominal, cos φ_n;
— reactanța supratranzitorie longitudinală, X''_d, în procente;
— t.e.m. supratranzitorie, E'', în unități relative (u.r.).

În cazul în care datele exacte lipsesc sau sînt aproximative, se pot folosi pentru reactanțele supratranzitorii longitudinale X''_d următoarele valori:
— pentru turbogeneratoare cu $S \leq 25$ MVA: 12,5%;
— pentru turbogeneratoare cu $30 \leq S \leq 75$ MVA: 14,5%;
— pentru turbogeneratoare cu $100 \leq S \leq 300$ MVA: 19,5%;
— pentru hidrogeneratoare cu înfășurare de amortizare: 20%;
— pentru hidrogeneratoare fără înfășurare de amortizare: 27%;
— pentru generatoare Diesel: 18%

În lipsa datelor precise referitoare la t.e.m. E'', se pot folosi următoarele valori, exprimate în unități relative:
— pentru turbogeneratoare: 1,08;
— pentru hidrogeneratoare cu înfășurare de amortizare: 1,13;
— pentru hidrogeneratoare fără înfășurare de amortizare: 1,18;

Observație. Pentru X''_d și E'' la compensatoarele sincrone și motoarele asincrone de mare putere se iau în considerare valorile indicate mai sus.

b. Pentru transformatoare și autotransformatoare:
— puterea nominală aparentă S_{nT}, în MVA;
— tensiunea de scurtcircuit, U_{sc}, în procente.

c. Pentru bobine de reactanță:
— tensiunea nominală U_{nB}, în kV;
— curentul nominal I_{nB}, în A;
— reactanța procentuală X_B, în procente.

d. Pentru linii electrice:
— lungimea liniei l, în km;
— reactanțele de succesiune directă, inversă și homopolară X_{0d}, X_{0i}, X_{0h}, pe unitatea de lungime a liniei, în Ω/km.

Cînd nu se cunosc date precise se pot adopta pentru reactențele specifice ale liniilor valorile medii din tabelele 3.33, 3.34, 3.35.

Schema echivalentă de calcul se întocmește numai pentru o fază, atît pentru scurtcircuite simetrice, cît și nesimetrice.

Elementele sistemului considerat se introduc în schema de calcul prin impedanțele (reactanțele) lor echivalente.

În cazul schemelor care conțin mai multe trepte de tensiune legate între ele prin transformatoare, toate impedanțele se raportează la aceiași treaptă de tensiune, care de obicei este tensiunea nominală de linie la locul scurtcircuitului.

3.7.3. CALCULUL CURENȚILOR DE SCURTCIRCUIT PRIN METODA COMPONENTELOR SIMETRICE

1. *Teoria componentelor simetrice. Noțiuni generale*

Orice sistem trifazat de mărimi — curenți, tensiuni, fluxuri etc. nesimetric, poate fi descompus numai într-un singur mod în trei sisteme trifazate simetrice independente; aceste trei sisteme simetrice, care se deosebesc între ele numai prin succesiunea fazelor se numesc respectiv: sistem de secvență directă, inversă și homopolară.

2. *Scheme de secvență*

La folosirea metodei componentelor simetrice una dintre problemele de bază constă în întocmirea schemelor echivalente pentru cele trei succesiuni — directă, inversă și homopolară. Din aceste scheme se obțin impedanțele echivalente ale diferitelor succesiuni ale rețelei considerate în raport cu punctul de defect.

Schema de succesiune directă este schema electrică echivalentă monofilară a rețelei, care se obține prin interconectarea schemelor echivalente ale elementelor componente de rețea conform schemei monofilare de conexiuni.

Schema de succesiune inversă este ca structură analoagă cu schema pentru succesiunea directă. Diferența între ele constă în faptul că în schema de succesiune inversă t.e.m. ale tuturor ramurilor generatoare este zero și în afară de aceasta se consideră că impedanțele de succesiune inversă ale mașinilor sincrone cît și ale sarcinii sînt diferite față de cele de succesiune directă. În calculele practice de scurtcircuit cele două reactanțe de secvență directă și inversă se consideră egale; aceasta duce la o subevaluare a puterii de scurtcircuit.

Se consideră ca început al schemei de succesiune directă/inversă punctul de defect, iar sfîrșitul schemei este punctul de potențial zero (pămîntul fictiv al schemei).

Schema de succesiune homopolară este cu totul diferită de schema de secvență directă sau inversă, ea fiind determinată în mare măsură de grupa de conexiuni a înfășurărilor transformatoarelor și autotransformatoarelor care sînt în rețea.

Întocmirea schemei de succesiune homopolară începe (de regulă) din punctul de scurtcircuit, considerînd că în acest punct toate fazele sînt scurtcircuitate între ele și că aici se aplică tensiunea de succesiune homopolară față de pămînt. Pentru a asigura o cale de circulație a curenților de succesiune homopolară este necesar să existe cel puțin un punct legat la pămînt în circuitele galvanice la care s-a aplicat tensiunea homopolară; cînd există mai multe puncte neutre legate la pămînt, în acest circuit se formează mai multe circuite paralele pentru închiderea curenților de succesiune homopolară.

3. *Scurtcircuitul trifazat*

Acesta corespunde unei încărcări simetrice pe cele trei faze, iar interconectarea rețelelor de secvență este reprezentată în tabelul 3.50.

Interconectarea rețelelor de secvență

Tipul scurtcircuitului	Rețeaua de secvență directă	Rețeaua de secvență inversă	Rețeaua de secvență homopolară
Scurtcircuit trifazat $I_k^{(3)}$	Kd	Ki	*) *) închis pentru cazul R-S-T-pămînt
Scurtcircuit bifazat fără pămîntare $I_k^{(2)}$	Kd	Ki	Kh
Scurtcircuit bifazat cu pămîntare $I_k^{(2p)}$	Kd	Ki	Kh
Scurtcircuit monofazat $I_k^{(1)}$	Kd	Ki	Kh

Relațiile de calcul pentru componentele simetrice ale curenților în cazul scurtcircuitului trifazat sînt:

$$\underline{I}_{dk}^{(3)} = \frac{\underline{E}}{\underline{Z}_{d\Sigma}};$$

$$\underline{I}_{ik}^{(3)} = 0; \tag{3.90}$$

$$\underline{I}_{hk}^{(3)} = 0.$$

Componentele de fază ale curentului la locul de scurtcircuit sînt:

$$\underline{I}_{RK}^{(3)} = \frac{\underline{E}}{\underline{Z}_{d\Sigma}}; \tag{3.91}$$

$$\underline{I}_{SK}^{(3)} = a^2 \cdot \underline{I}_{RK}^{(3)};$$

$$= a^2 \frac{\underline{E}}{\underline{Z}_{d\Sigma}}; \tag{3.92}$$

$$\underline{I}_{TK}^{(3)} = a\, \underline{I}_{RK}^{(3)};$$

$$a = \frac{\underline{E}}{\underline{Z}_{d\Sigma}}, \tag{3.93}$$

iar ale tensiunii:

$$V_{RK}^{(3)} = V_{SK}^{(3)} = V_{TK}^{(3)} = 0 \tag{3.94}$$

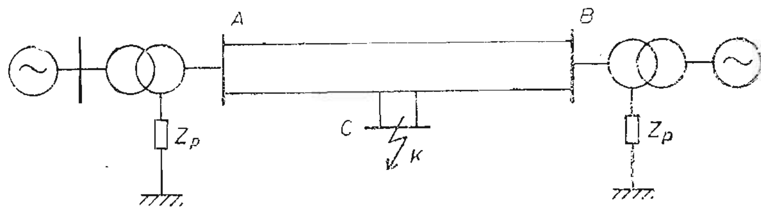


Fig. 3.21. Schema de conexiune a rețelei.

Pentru rețeaua din figura 3.21 se reprezintă schema de calcul pentru un scurtcircuit trifazat (fig. 3.22).

Observație. *1.* În schemă nu apare Z_p deoarece $U_h = 0$;

$$a = e^{j120} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}.$$

4. *Scurtcircuitul bifazat fără pămînt*

Interconectarea rețelelor de secvență este reprezentată în tabelul 3.50.

Relațiile de calcul pentru componentele simetrice ale curenților la locul de defect sînt:

$$\underline{I}_{dK}^{(2)} = \frac{\underline{E}}{\underline{Z}_{d\Sigma} + \underline{Z}_{i\Sigma}}; \tag{3.95}$$

$$\underline{I}_{iK}^{(2)} = -\underline{I}_{dK}^{(2)}. \tag{3.96}$$

Curenții pe fază la locul de defect sînt exprimați prin:

$$\underline{I}_{RK}^{(2)} = \underline{I}_{dK}^{(2)} + \underline{I}_{iK}^{(2)} = 0 \tag{3.97}$$

$$\underline{I}_{SK}^{(2)} = a^2\,\underline{I}_{dK}^{(2)} + a\,\underline{I}_{iK}^{(2)},$$

$$= -j\frac{\sqrt{3}\,\underline{E}}{\underline{Z}_{d\Sigma} + \underline{Z}_{i\Sigma}}. \tag{3.98}$$

$$\underline{I}_{TK}^{(2)} = a\,\underline{I}_{dK}^{(2)} + a^2\,\underline{I}_{iK}^{(2)},$$

$$= j\frac{\sqrt{3}\,\underline{E}}{\underline{Z}_{d\Sigma} + \underline{Z}_{i\Sigma}}. \tag{3.99}$$

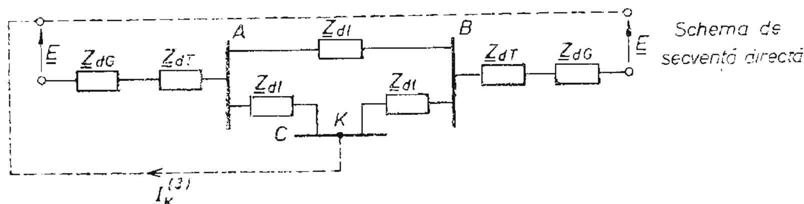


Fig. 3.22. Schema de calcul pentru scurtcircuit trifazat pe bara C.

În relația (3.95), dacă se consideră $\underline{Z}_{d\Sigma} \cong \underline{Z}_{i\Sigma}$, se obține:

$$\underline{I}_{dK}^{(2)} = \frac{\underline{E}}{2\underline{Z}_{d\Sigma}}, \tag{3.100}$$

$$\underline{I}_{iK}^{(2)} = -\underline{I}_{dK}^{(2)}. \tag{3.101}$$

Tot pentru $\underline{Z}_{d\Sigma} \cong \underline{Z}_{i\Sigma}$, din relațiile (3.91) și (3.99), se obține:

$$\underline{I}_{K}^{(3)} = \underline{I}_{dK}^{(3)} = \frac{\underline{E}}{\underline{Z}_{d\Sigma}} \tag{3.102}$$

și

$$\underline{I}_{K}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}\cdot \underline{E}}{2\underline{Z}_{d\Sigma}}, \tag{3.103}$$

de unde rezultă:

$$\underline{I}_{K}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2}\cdot \underline{I}_{K}^{(3)},$$

$$= 0{,}865\, \underline{I}_{K}^{(3)}. \tag{3.104}$$

În figura 3.23 este reprezentată schema de calcul pentru un scurtcircuit bifazat fără pămînt pe bara C a rețelei din figura 3.21.

5. Scurtcircuitul bifazat cu pămîntare

Interconectarea rețelelor de secvență este reprezentată în tabelul 3.50.

Relațiile de calcul pentru componentele simetrice ale curenților la locul de defect sînt:

$$\underline{I}_{dK}^{(2p)} = \frac{(\underline{Z}_{i\Sigma} + \underline{Z}_{h\Sigma})\cdot \underline{E}}{\underline{Z}_{d\Sigma}\cdot \underline{Z}_{i\Sigma} + \underline{Z}_{i\Sigma}\cdot \underline{Z}_{h\Sigma} + \underline{Z}_{h\Sigma}\cdot \underline{Z}_{d\Sigma}}, \tag{3.105}$$

$$\underline{I}_{iK}^{(2p)} = \frac{-\underline{Z}_{h\Sigma}\cdot \underline{E}}{\underline{Z}_{d\Sigma}\cdot \underline{Z}_{i\Sigma} + \underline{Z}_{i\Sigma}\cdot \underline{Z}_{h\Sigma} + \underline{Z}_{h\Sigma}\cdot \underline{Z}_{d\Sigma}}, \tag{3.106}$$

$$\underline{I}_{hK}^{(2p)} = \frac{-\underline{Z}_{i\Sigma}\cdot \underline{E}}{\underline{Z}_{d\Sigma}\cdot \underline{Z}_{i\Sigma} + \underline{Z}_{i\Sigma}\cdot \underline{Z}_{h\Sigma} + \underline{Z}_{h\Sigma}\cdot \underline{Z}_{d\Sigma}}, \tag{3.107}$$

Fig. 3.23. Schema de calcul pentru scurtcircuit bifazat pe bara C.

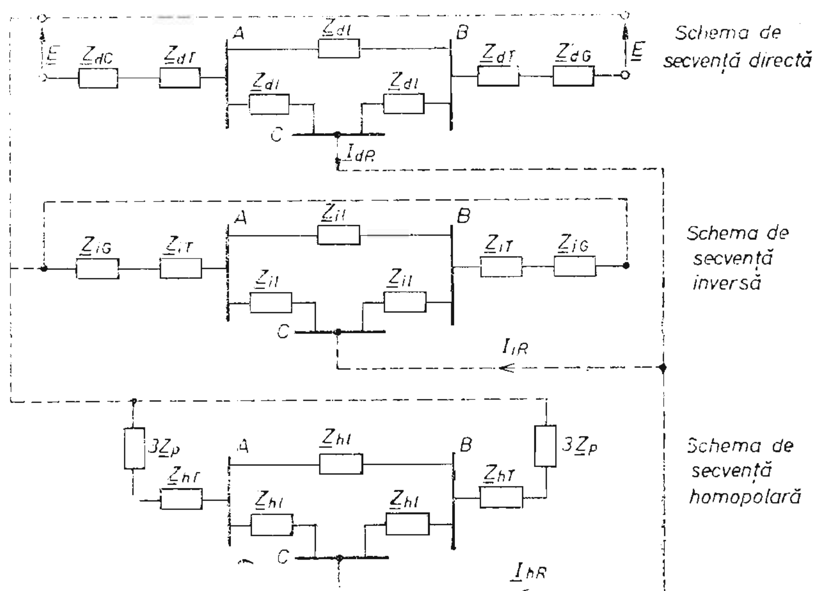


Fig. 3.24. Schema de calcul pentru scurtcircuit bifazat cu pămîntare pe bara *C*.

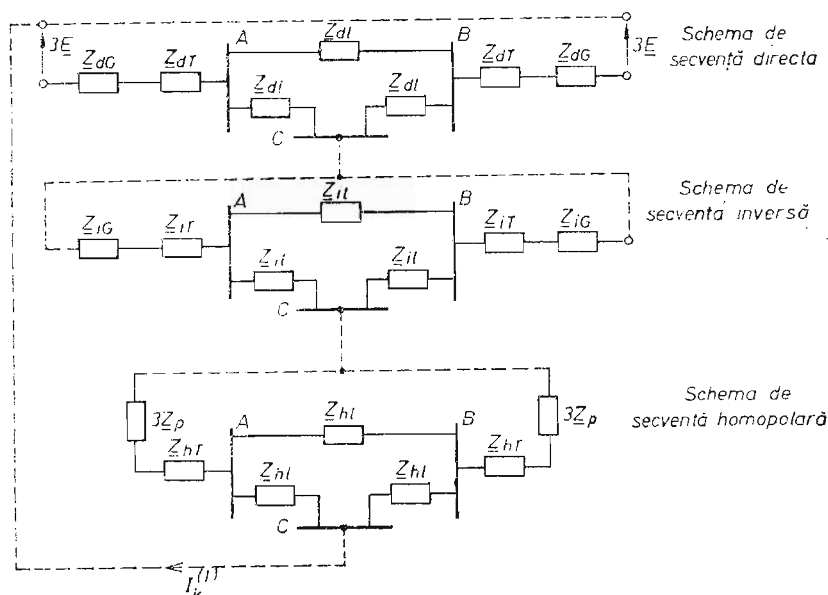


Fig. 3.25. Schema de calcul pentru scurtcircuit monofazat pe bara *C*.

iar valorile de fază ale curenţilor la locul de defect sînt:

$$\underline{I}_{RK}^{(2p)} = \underline{I}_{hK}^{(2p)} + \underline{I}_{dK}^{(2p)} + \underline{I}_{iK}^{(2p)} = 0 \tag{3.108}$$

$$\underline{I}_{SK}^{(2p)} = \underline{I}_{hK}^{(2p)} + a^2\underline{I}_{dK}^{(2p)} + a\underline{I}_{iK}^{(2p)} = \\ = \frac{-\mathrm{j}\sqrt{3}\underline{E}(\underline{Z}_{h\Sigma} - a\underline{Z}_{i\Sigma})}{\underline{Z}_{d\Sigma}\cdot\underline{Z}_{i\Sigma} + \underline{Z}_{i\Sigma}\cdot\underline{Z}_{h\Sigma} + \underline{Z}_{h\Sigma}\cdot\underline{Z}_{d\Sigma}}. \tag{3.109}$$

Pentru reţeaua din figura 3.21, în cazul unui scurtcircuit bifazat la pămînt pe bara C, schema de calcul este reprezentată în figura 3.24.

6. Scurtcircuitul monofazat

În tabelul 3.50 este reprezentată interconectarea reţelelor de secvenţă.

Relaţiile de calcul pentru componentele simetrice ale curenţilor la locul de defect/scurtcircuit sînt:

$$\underline{I}_{dK}^{(1)} = \underline{I}_{iK}^{(1)} = \underline{I}_{hK}^{(1)} = \frac{\underline{E}}{\underline{Z}_d\underline{E} + \underline{Z}_{i\Sigma} + \underline{Z}_{h\Sigma}}. \tag{3.110}$$

Curenţii pe fază la locul de scurtcircuit sînt:

$$\underline{I}_{RK}^{(1)} = \underline{I}_{hK}^{(1)} + \underline{I}_{dK}^{(1)} + \underline{I}_{iK}^{(1)}, \\ = 3\cdot\frac{\underline{E}}{\underline{Z}_{d\Sigma} + \underline{Z}_{i\Sigma} + \underline{Z}_{h\Sigma}}, \\ = 3\cdot\underline{I}_{dK}^{(1)}; \tag{3.111}$$

$$\underline{I}_{SK}^{(1)} = \underline{I}_{hK}^{(1)} + a^2\underline{I}_{dK}^{(1)} + a\underline{I}_{iK}^{(1)}, \\ = \underline{I}_{hK}^{(1)}(1 + a^2 + a), \\ = 0; \tag{3.112}$$

$$\underline{I}_{TK}^{(1)} = \underline{I}_{hK}^{(1)} + a\underline{I}_{dK}^{(1)} + a^2\underline{I}_{iK}^{(1)}, \\ = \underline{I}_{hK}^{(1)}(1 + a + a^2), \\ = 0. \tag{3.113}$$

Pentru reţeaua din figura 3.21, în cazul unui scurtcircuit monofazat pe bara C, schema de calcul este reprezentată în figura 3.25.

În tabelele 3.51—3.54 sînt prezentate în mod sintetic relaţiile de calcul pentru componentele de secvenţă şi fază ale curenţilor şi tensiunilor la locul de scurtcircuit.

3.7.4. CALCULUL CURENŢILOR DE SCURTCIRCUIT PRIN METODA UNITĂŢILOR RELATIVE

Metoda de calcul foloseşte exprimarea impedanţelor schemei de calcul în unităţi relative.

Impedanţa Z, în Ω, a oricărui element se poate exprima în unităţi relative prin raportarea ei la nişte mărimi, numite de bază, alese în mod

Tabelul 3.51

Componentele de secvență ale curentului la locul de scurtcircuit

Tipul scurtcircuitului	$\underline{I}_{dK}$	$\underline{I}_{iK}$	$\underline{I}_{hK}$
Trifazat	$\frac{\underline{E}}{\underline{Z}_{d\Sigma}}$	0	0
Bifazat fără pămîntare	$\frac{\underline{E}}{\underline{Z}_{d\Sigma}+\underline{Z}_{i\Sigma}}$	$-\frac{\underline{E}}{\underline{Z}_{d\Sigma}+\underline{Z}_{i\Sigma}}$	0
Bifazat cu pămîntare	$\frac{(\underline{Z}_{i\Sigma}+\underline{Z}_{h\Sigma})\underline{E}}{\underline{Z}_{d\Sigma}\cdot\underline{Z}_{i\Sigma}+\underline{Z}_{i\Sigma}\cdot\underline{Z}_{h\Sigma}+\underline{Z}_{h\Sigma}\underline{Z}_{d\Sigma}}$	$\frac{-\underline{Z}_{h\Sigma}\cdot\underline{E}}{\underline{Z}_{d\Sigma}\cdot\underline{Z}_{i\Sigma}+\underline{Z}_{i\Sigma}\underline{Z}_{h\Sigma}+\underline{Z}_{h\Sigma}\underline{Z}_{d\Sigma}}$	$\frac{-\underline{Z}_{i\Sigma}\cdot\underline{E}}{\underline{Z}_{d\Sigma}\underline{Z}_{i\Sigma}+\underline{Z}_{i\Sigma}\underline{Z}_{h\Sigma}+\underline{Z}_{h\Sigma}\underline{Z}_{d\Sigma}}$
Monofazat	$\frac{\underline{E}}{\underline{Z}_{d\Sigma}+\underline{Z}_{i\Sigma}+\underline{Z}_{h\Sigma}}$	$\frac{\underline{E}}{\underline{Z}_{d\Sigma}+\underline{Z}_{i\Sigma}+\underline{Z}_{h\Sigma}}$	$\frac{\underline{E}}{\underline{Z}_{d\Sigma}+\underline{Z}_{i\Sigma}+\underline{Z}_{h\Sigma}}$

Notă. $\underline{Z}_{d\Sigma}$, $\underline{Z}_{i\Sigma}$, $\underline{Z}_{h\Sigma}$ reprezintă impedanța echivalentă în raport cu punctul de scurtcircuit a rețelei de secvență directă, inversă, homopolară.

Tabelul 3.52

Componentele de fază ale curentului la locul de scurtcircuit

Tipul scurtcircuitului	$\underline{I}_{RK}$	$\underline{I}_{SK}$	$\underline{I}_{TK}$
Trifazat	$\frac{\underline{E}}{\underline{Z}_{d\Sigma}}$	$a^2\frac{\underline{E}}{\underline{Z}_{d\Sigma}}$	$a\frac{\underline{E}}{\underline{Z}_{d\Sigma}}$
Bifazat fără pămîntare	0	$\frac{-\mathrm{j}\sqrt{3}\cdot\underline{E}}{\underline{Z}_{d\Sigma}+\underline{Z}_{i\Sigma}}$	$\frac{\mathrm{j}\sqrt{3}\underline{E}}{\underline{Z}_{d\Sigma}+\underline{Z}_{i\Sigma}}$
Bifazat cu pămîntare	0	$\frac{-\mathrm{j}\sqrt{3}\cdot\underline{E}(\underline{Z}_{h\Sigma}-a\underline{Z}_{i\Sigma})}{\underline{Z}_{d\Sigma}\cdot\underline{Z}_{i\Sigma}+\underline{Z}_{i\Sigma}\cdot\underline{Z}_{h\Sigma}+\underline{Z}_{h\Sigma}\cdot\underline{Z}_{d\Sigma}}$	$\frac{\mathrm{j}\sqrt{3}\underline{E}(\underline{Z}_{h\Sigma}-a^2\cdot\underline{Z}_{i\Sigma})}{\underline{Z}_{d\Sigma}\cdot\underline{Z}_{i\Sigma}+\underline{Z}_{i\Sigma}\cdot\underline{Z}_{h\Sigma}+\underline{Z}_{h\Sigma}\cdot\underline{Z}_{d\Sigma}}$
Monofazat	$\frac{3\underline{E}}{\underline{Z}_{d\Sigma}+\underline{Z}_{i\Sigma}+\underline{Z}_{h\Sigma}}$	0	0

Tabelul 3.53

Componentele de secvență ale tensiunii la locul de scurtcircuit

Tipul scurtcircuitului	V_{dK}	V_{iK}	V_{hK}
Trifazat	0	0	0
Bifazat fără pămîntare	$\frac{Z_{i\Sigma} \cdot E}{Z_{d\Sigma} + Z_{i\Sigma}}$	$\frac{Z_{i\Sigma} \cdot E}{Z_{d\Sigma} + Z_{i\Sigma}}$	0
Bifazat cu pămîntare	$\frac{Z_{i\Sigma} \cdot Z_{h\Sigma} E}{Z_{d\Sigma} \cdot Z_{i\Sigma} + Z_{i\Sigma} \cdot Z_{h\Sigma} + Z_{h\Sigma} \cdot Z_{d\Sigma}}$	$\frac{Z_{i\Sigma} \cdot Z_{h\Sigma} \cdot E}{Z_{d\Sigma} \cdot Z_{i\Sigma} + Z_{i\Sigma} \cdot Z_{h\Sigma} + Z_{h\Sigma} \cdot Z_{d\Sigma}}$	$\frac{Z_{i\Sigma} \cdot Z_{h\Sigma} \cdot E}{Z_{dT} \cdot Z_{i\Sigma} + Z_{i\Sigma} \cdot Z_{h\Sigma} + Z_{h\Sigma} \cdot Z_{d\Sigma}}$
Monofazat	$\frac{(Z_{i\Sigma} + Z_{h\Sigma}) \cdot E}{Z_{d\Sigma} + Z_{i\Sigma} + Z_{h\Sigma}}$	$\frac{-Z_{i\Sigma} \cdot E}{Z_{d\Sigma} + Z_{i\Sigma} + Z_{h\Sigma}}$	$\frac{-Z_{h\Sigma} \cdot E}{Z_{d\Sigma} + Z_{i\Sigma} + Z_{h\Sigma}}$

Tabelul 3.54

Componentele de fază ale tensiunii la locul de scurtcircuit

Tipul scurtcircuitului	V_{RK}	V_{SK}	V_{TK}
Trifazat	0	0	0
Bifazat fără pămîntare	$\frac{2Z_{i\Sigma} \cdot E}{Z_{d\Sigma} + Z_{i\Sigma}}$	$\frac{-Z_{i\Sigma} \cdot E}{Z_{dT} + Z_{i\Sigma}}$	$\frac{-Z_{i\Sigma} \cdot E}{Z_{d\Sigma} + Z_{i\Sigma}}$
Bifazat cu pămîntare	$\frac{3 \cdot Z_{i\Sigma} \cdot Z_{h\Sigma} \cdot E}{Z_{d\Sigma} \cdot Z_{i\Sigma} + Z_{i\Sigma} \cdot Z_{h\Sigma} + Z_{h\Sigma} \cdot Z_{a\Sigma}}$	0	0
Monofazat	0	$\frac{[(a^2 - a)Z_{i\Sigma} + (a^2 - 1) \cdot Z_{h\Sigma}] \cdot E}{Z_{d\Sigma} + Z_{i\Sigma} + Z_{h\Sigma}}$	$\frac{[(a - a^2) \cdot Z_{i\Sigma} + (a - 1)Z_{h\Sigma}] \cdot E}{Z_{d\Sigma} + Z_{i\Sigma} + Z_{h\Sigma}}$

arbitrar. Trecerea la impedanța Z_b^* (exprimată în unități relative) se face cu relația:

$$Z_b^* = \frac{S_b}{U_b^2} \cdot \frac{U^2}{S_n}, \tag{3.114}$$

în care: S_b este puterea de bază pe o fază, în MVA; se recomandă alegerea unei puteri de 100 sau 1 000 MVA;
U_b — tensiunea de bază, în kV; se alege tensiunea medie de linie la locul scurtcircuitului (tab. 3.49).

Impedanța exprimată în mărimi relative arată de cîte ori impedanța Z, exprimată în ohmi, este mai mare decît impedanța fictivă Z_f rezultată din alegerea mărimilor de bază:

$$Z_f = \frac{U_b^2}{S_b}. \tag{3.115}$$

Curentul de bază este

$$I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3}U_b}. \tag{3.116}$$

1. Calculul impedanțelor (reactanțelor) în unități relative

Reactanța de legătură la barele unui sistem de putere infinită (reactanța sistemului) este

$$X_{sb}^* = \frac{S_b}{S_{sc}}, \tag{3.117}$$

în care: S_{sc} este valoarea puterii debitate de sistem la scurtcircuit, în punctul față de care se determină reactanța.

Reactanța transformatorului cu două înfășurări este

$$X_{Tb}^* = \frac{U_{sc}}{100} \cdot \frac{S_b}{S_{nT}}. \tag{3.118}$$

1. Reactanțele transformatoarelor (autotransformatoarelor) trifazate de putere cu trei înfășurări

Reactanțele celor trei înfășurări X_{1b}^*, X_{2b}^*, și X_{3b}^* (indicii 1, 2, 3 se referă la înfășurările de î.t., m.t. și respectiv j.t) pot fi calculate prin relația (3.118), în care se înlocuiește mărimea S_{nT} cu S_{n1} — puterea aparentă nominală a înfășurării de î.t., iar tensiunile de scurtcircuit U_{sc1}, U_{sc2}, U_{sc3} (în procente) prin mărimile calculate cu ajutorul relațiilor:

$$\begin{aligned} U_{sc1} &= \frac{U_{sc1-2} + U_{sc3-1} - U_{sc2-3}}{2}; \\ U_{sc2} &= \frac{U_{sc2-3} + U_{sc1-2} - U_{sc3-1}}{2}; \\ U_{sc3} &= \frac{U_{sc3-1} + U_{sc2-3} - U_{sc1-2}}{2}. \end{aligned} \tag{3.119}$$

Se obțin:

$$X^*_{1b} = \frac{U_{sc1}}{100} \cdot \frac{S_b}{S_{n1}},$$

$$X^*_{2b} = \frac{U_{sc2}}{100} \cdot \frac{S_b}{S_{n1}}; \qquad (3.120)$$

$$X^*_{3b} = \frac{U_{sc3}}{100} \cdot \frac{S_b}{S_{n1}}.$$

Impedanța liniilor este compusă din reactanța

$$X^*_{lb} = X_0 \cdot l \cdot \frac{S_b}{U_b^2} \qquad (3.121)$$

și rezistența

$$R^*_{lb} = R_0 \cdot l \cdot \frac{S_b}{U_b^2}. \qquad (3.122)$$

Reactanța bobinelor este

$$X_{Bb} = \frac{X_B}{100} \cdot \frac{I_b}{I_{nB}} \cdot \frac{U_B}{U_n}. \qquad (3.123)$$

2. Reactanța totală și reactanța de calcul

Calculînd toate reactanțele și rezistențele raportate la mărimile de bază din schema echivalentă de calcul, pe baza unor transformări și transfigurări succesive (tab. 3.55), rezultă reactanța totală $X^*_{\Sigma b}$ și rezistența $R^*_{\Sigma b}$.

Tabelul 3.55

Transfigurarea schemelor

Schema	Schema simplificată sau transformată	Formula de tranziție
S_1, X_1, X_2, X_3 (în serie)	S_1, X	$X = \sum_{i=n}^{n} X_i$
S_1, X_1 … X_n (în paralel)	S_1, X	$\frac{1}{X} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{X_i}$
S_1, S_2, S_3; X_{12}, X_{13}, X_{23} (triunghi)	S_1, S_2, S_3; X_1, X_2, X_3 (stea)	$X_1 = \frac{X_{12} \cdot X_{13}}{X_{12}+X_{13}+X_{23}}$ $X_2 = \frac{X_{12} \cdot X_{23}}{X_{12}+X_{13}+X_{23}}$ $X_3 = \frac{X_{13} \cdot X_{23}}{X_{12}+X_{13}+X_{23}}$
S_1, S_2, S_3; X_1, X_2, X_3 (stea)	S_1, S_2, S_3; X_{12}, X_{13}, X_{23} (triunghi)	$X_{12} = X_1 + X_2 + \frac{X_1 \cdot X_2}{X_3}$ $X_{23} = X_2 + X_3 + \frac{X_1 \cdot X_3}{X_1}$ $X_{13} = X_1 + X_3 + \frac{X_1 \cdot X_3}{X_2}$

Se compară $X^*_{\Sigma b}$ cu $R^*_{\Sigma b}$. Dacă $R^*_{\Sigma b} \leqslant \frac{1}{3} X^*_{\Sigma b}$, atunci $R^*_{\Sigma b}$ se poate neglija şi schema de calcul va conţine numai reactanţa $X^*_{\Sigma b}$. În majoritatea cazurilor, datorită valorii mici a rezistenţelor, impedanţa echivalentă se reduce la reactanţa echivalentă raportată.

Reactanţa de calcul se determină cu ajutorul formulei:

$$X^*_{calc} = X^*_{\Sigma b} \cdot \frac{\Sigma S}{S_b}, \tag{3.124}$$

în care ΣS este suma puterilor generatoarelor care debitează pe reactanţa echivalentă.

3. Calculul curenţilor de scurtcircuit

Calculul curenţilor de scurtcircuit se efectuează în mod diferit în funcţie de valoarea reactanţei de calcul.

a. Dacă $X^*_{calc} > 3$, atunci componenta periodică a curentului de scurtcircuit este constantă în orice moment. În acest caz regimul de scurtcircuit, datorită distanţei electrice mari, este lipsit de regimul tranzitoriu la locul defect şi acesta intră din primul moment în regimul permanent de scurtcircuit.

În acest caz

$$I_{sc0} = I_{sc0,2} = I_{scp} = \frac{I_\Sigma}{X^*_{calc}}, \tag{3.125}$$

în care:

$$I_\Sigma = \frac{\Sigma S}{\sqrt{3} U_b}. \tag{3.126}$$

Observaţii. *1.* În cazul în care nu avem date referitoare la sursele care alimentează scurtcircuitul atunci curentul de scurtcircuit se determină din relaţia:

$$I_{scp} = \frac{I_b}{X^*_{\Sigma b}}, \tag{3.127}$$

unde I_b este calculat pentru tensiunea la care are loc scurtcircuitul.

2. În cazul în care se cunoaşte numai puterea de scurtcircuit pe barele din amonte, calculul se efectuează în ipoteza că $X^*_{calc} > 3$, sistemul din amonte se înlocuieşte cu X^*_{sb} (rel. 3.117).

b. Dacă $X^*_{calc} < 3$, atunci curentul de scurtcircuit se determină cu relaţiile:

$$\begin{aligned} I_{sc0} &= K_0 \cdot I_{nG}; \\ I_{sc0,2} &= K_{0,2} \cdot I_{nG}; \\ I_{scp} &= K_p \cdot I_{nG}, \end{aligned} \tag{3.128}$$

în care K_0, $K_{0,2}$, şi K_p sînt coeficienţi rezultaţi din curbele de calcul din figura 3.26; I_{nG} — suma curenţilor nominali debitaţi de generatoare;

$$I_{nG} = \Sigma \frac{S_i}{\sqrt{3} U_{bi}}, \tag{3.129}$$

în care S_i este puterea fiecărei surse, în MVA.

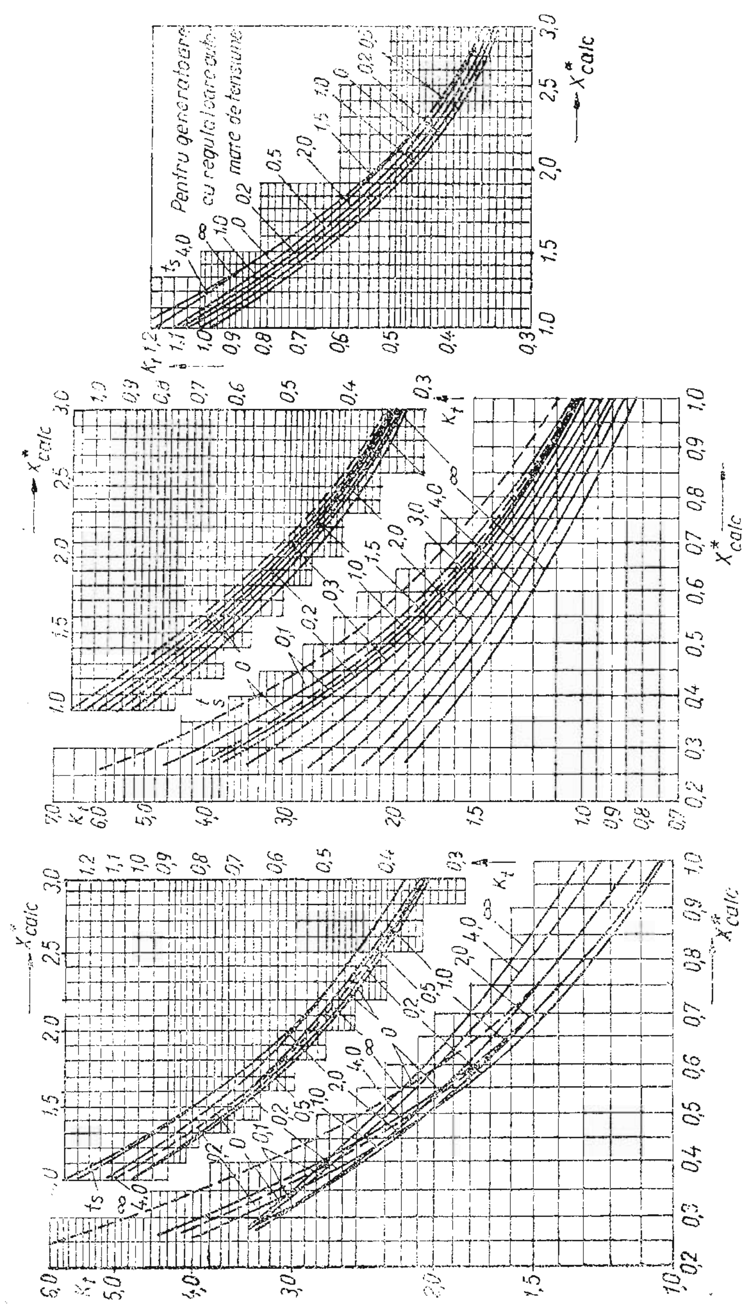


Fig. 3.26. Nomograme pentru determinarea coeficienţilor K_u, $K_{u,p}$, $K_{...}$

Observații. *1.* Valoarea eficace a componentei aperiodice este:

$$I_{ap} = \sqrt{2} \cdot I_{sc0} \cdot e^{-\frac{t}{T_\Sigma}}, \quad (3.130)$$

unde T_Σ este constanta de timp a schemei echivalente

$$T_\Sigma = \frac{X^*_{\Sigma b}}{\omega R^*_{\Sigma b}}. \quad (3.131)$$

Constanta de timp pentru generatoare se dă în tabelul 3.56. Alte valori:

— transformatoare cu $S_n > 10$ MVA ... $T = 0{,}03 \div 0{,}05$ s;
— bobine de reactanță pe linii . . . . $T = 0{,}06 \div 0{,}1$ s;
— bobine de reactanță pe secții de bare . . . . . . $T = 0{,}1 \div 0{,}2$ s.

Tabelul 3.56

Constantele de timp ale generatoarelor

Tipul turbogenerator	P [kW]	Tensiunea [kV]	Constanta de timp [s]	
			Scurtcircuit trifazic și bifazic	Scurtcircuit monofazic
$T-2-0{,}5-2$	500	0,4/0,23 0,525	0,04 0,042	0,031 0,032
$T-1-1-2$	1 000	0,4/23 0,525	0,058 0,056	0,043 0,046
$T-2A-1{,}5-2$	1 500	0,04/0,23 0,525 3,15; 6,3	0,066 0,053 0,056	0,046 0,043 0,044
$T2-3-2$	3 000	3,15; 6,3	0,093	0,076
$T2-3{,}5-2$	3 500	3,15; 6,3	0,102	0,089
$T2-6-2$	6 000	3,15 6,3	0,128 0,128	0,104 0,104
$T2-12-2$	12 000	3,15; 6,3 10,5	0,162 0,177	0,128 0,145
$T2-25-2$	25 000	6,3 10,5	0,210 0,222	0,175 0,175
$T2-50-2$	50 000	10,5	0,270	0,207
$T2-100-2$	100 000	15,75	0,378	0,300

Constanta de timp T_Σ se poate considera în calcul:

$T_\Sigma = 0{,}05$ s pentru scurtcircuit în sistem;
$T_\Sigma = 0{,}01$ s pentru scurtcircuit pe barele generatorului.

Avînd în vedere că protecția liniilor acționează la un timp $t_{sc} > 0{,}20$ s, componenta aperiodică nu prezintă mare importanță. De valoarea ei se ține cont la alegerea întreruptoarelor cu acțiune rapidă.

Valorile coeficientului K_t

Tipul generatorului	Momentul t [s]	Valorile K_t pentru cotele de participare a generatorului legat direct cu punctul de scurtcircuit				
		0	0,25	[illegible]	0,75	1,0
Turbogenerator	0,05 0,10	1,10 1,00	1,10 1,00	1,15 1,05	1,20 1,10	1,20 1,10
Hidrogenerator cu bobină de amortizare	0,05 0,10	1,10 1,00	1,15 1,00	1,25 1,10	1,40 1,20	1,50 1,30
Hidrogenerator fără bobină de amortizare	0,05 0,10	1,10 1,00	1,20 1,00	1,40 1,20	1,60 1,40	1,70 1,50

2. Pentru timpi $t_{sc} < 0,1$ s, curentul total de scurtcircuit se poate calcula şi cu următoarea relaţie simplificată

$$I_{sct} = K_t \cdot I_{sc0}, \tag{3.132}$$

în care K_t este un coeficient stabilit empiric ce ţine seama de valorile componentei periodice şi aperiodice (tab. 3.57).

3. Calculul curentului de şoc

Curentul de şoc apare după un timp $t = 0,01$ s (la $f = 50$ Hz) de la producerea scurtcircuitului şi reprezintă cea mai mare valoare instantanee a curentului de scurtcircuit:

$$i_ş = K_ş \sqrt{2} \cdot I_{sc0}, \tag{3.133}$$

în care $K_ş$ este un factor ce depinde de raportul R_Σ / X_Σ al căii de scurtcircuit — (fig. 3.27).

Pentru un sistem cu tensiunea nominală $U_n > 1$ kV:

$K_ş = 1,9$ la scurtcircuit pe barele generatoarelor;

$K_ş = 1,8$ la scurtcircuite în toate celelalte puncte ale sistemului.

În cazul în care reţeaua în care s-a produs scurtcircuitul alimentează un motor asincron cu puterea peste 1 MW şi dacă scurtcircuitul s-a produs în punctul de ramificaţie al liniei de alimentare a motorului considerat, atunci trebuie luat în considerare şi aportul acestuia la curentul de şoc de scurtcircuit:

$$i_{şm} \approx 6,5\, I_{nm}, \tag{3.134}$$

în care I_{nm} este curentul nominal al motorului, în kA.

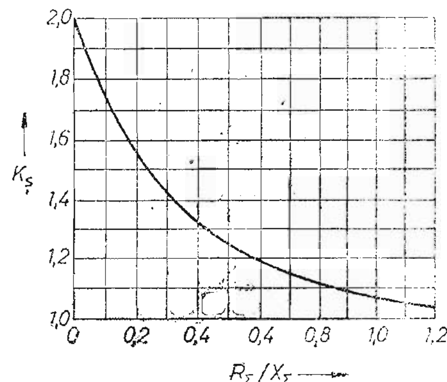


Fig. 3.27. Factorul $K_ş$.

Succesiunea calculului componentei periodice a curentului de scurtcircuit este următoarea:

a) se întocmeşte schema de calcul în care toate elementele sistemului se înlocuiesc prin impedanţe (reactanţe);

b) se aleg conform indicațiilor S_b și U_b, apoi se calculează I_b;

c) se exprimă impedanțele elementelor în unități relative;

d) se simplifică schema prin transformări și transfigurări și se determină impedanța totală pînă la locul scurtcircuitului;

e) se determină impedanța de calcul;

f) se calculează I_{sct}; S_{sc} și i_s.

3.7.5. CALCULUL CURENȚILOR DE SCURTCIRCUIT ÎN CAZUL REGIMULUI ASIMETRIC PRIN METODA UNITĂȚILOR RELATIVE

Metoda de calcul utilizează același sistem al unităților relative. Pe baza schemelor echivalente de secvență directă, inversă și homopolară a scurtcircuitului și a curbelor de calcul, se determină curentul de scurtcircuit de secvență respectivă ca un curent al scurtcircuitului trifazat echivalent, urmînd ca din ele să se calculeze valorile curenților reali de scurtcircuit pe cele trei faze.

1. Scurtcircuitul bifazat fără punere la pămînt

Schema echivalentă a scurtcircuitului este redată în figura 3.28 în care:

$X^*_{\Sigma d}$ și $X^*_{\Sigma i}$ sînt reactanțele echivalente de secvență directă și inversă de la sursă la locul de scurtcircuit, în unitățile relative;

I_{scd}, I_{sci} — curenții de scurtcircuit de secvență directă și inversă.

În calcule, pentru simplificare, nu se vor lua în considerare rezistențele; în acest caz $X^*_{\Sigma d} = X^*_{\Sigma i}$. Reactanța $X^*_{\Sigma d}$ se calculează întocmai ca și reactanța pe fază de la scurtcircuitul trifazat simetric. Din figura 3.28 se observă că $I_{scd} = I_{sci}$ și că E, $X^*_{\Sigma d}$ și $X^*_{\Sigma i}$ sînt legate în serie.

Mersul calculului este următorul:

a) se aleg S_b și U_b;

b) se întocmește schema de calcul de secvență directă (identică cu cea de la calculul curentului de scurtcircuit trifazat simetric);

c) se reduce schema de secvență directă la reactanța echivalentă $X^*_{\Sigma d}$;

d) se consideră $X^*_{\Sigma i} = X^*_{\Sigma d}$ fără a mai întocmi schema de secvență inversă;

e) se calculează reactanțele de calcul:

$$X^{*} = 2X_{\Sigma}\,\frac{S}{S_b}\,. \qquad (3.135)$$

f) curentul de scurtcircuit se calculează ca și în cazul scurtcircuitului trifazat;

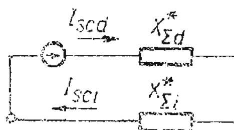


Fig. 3.28. Schema echivalentă a scurtcircuitului bifazat fără punere la pămînt.

g) curenții de scurtcircuit pe cele trei faze se determină cu relațiile:

$$\underline{I}_R = 0;$$

$$\underline{I}_S = -j\sqrt{3}I_{scd}; \quad (3.136)$$

$$\underline{I}_T = j\sqrt{3}I_{scd}.$$

2. Scurtcircuitul bifazat cu punere la pămînt

Schema echivalentă a scurtcircuitului este redată în figura 3.29. În acest caz în schema echivalentă apare și reactanța homopolară a circuitului.

Mersul calculului este următorul:

a) se aleg S_b și U_b;

b) se întocmește schema de secvență directă (ca la scurtcircuitul trifazat);

c) se reduce schema de secvență directă la reactanța echivalentă $X^*_{\Sigma d}$;

d) se consideră $X^*_{\Sigma i} = X^*_{\Sigma d}$, fără a mai întocmi schema de secvență inversă;

e) se întocmește schema de calcul pentru secvența homopolară [14] și se determină $X^*_{\Sigma h}$;

f) se determină reactanța echivalentă din figura 3.29 și se calculează reactanța de calcul;

g) se determină I_{scd} conform par. 3.7.4, pct. 3;

h) cu ajutorul lui I_{scd} se determină curenții de scurtcircuit pe faze, cu relațiile:

$$\underline{I}_R = 0;$$

$$\underline{I}_S = \left(a^2 - \frac{X^*_{\Sigma i} + aX^*_{\Sigma h}}{X^*_{\Sigma i} + X^*_{\Sigma h}}\right)I_{scd}; \quad (3.137)$$

$$\underline{I}_T = \left(a - \frac{X^*_{\Sigma i} + aX^*_{\Sigma h}}{X^*_{\Sigma i} + X^*_{\Sigma h}}\right)I_{sbd}.$$

În aceste relații $a = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$ și $a^2 = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$.

3. Scurtcircuitul monofazat cu punere la pămînt

Schema echivalentă a scurtcircuitului este redată în figura 3.30.

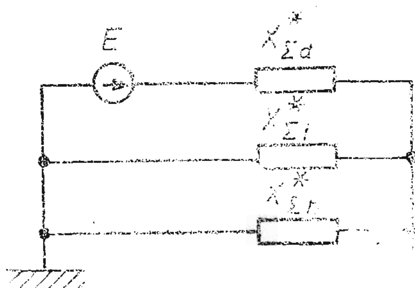


Fig. 3.29. Schema echivalentă a scurtcircuitului bifazat cu punere la pămînt.

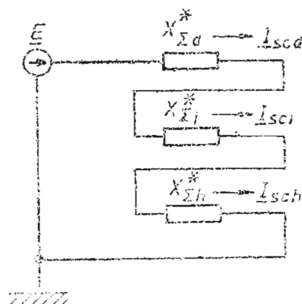


Fig. 3.30. Schema echivalentă a scurtcircuitului monofazat.

Mersul calculului este următorul:

a) se aleg S_b şi U_b;

b) se întocmeşte schema de secvenţă directă;

c) se reduce schema de secvenţă directă la reactanţa echivalentă $X^*_{\Sigma d}$;

d) se consideră $X^*_{\Sigma i} = X^*_{\Sigma d}$, fără a mai întocmi schema de secvenţă inversă;

e) se întocmeşte schema de secvenţă homopolară şi se reduce la $X^*_{\Sigma h}$, în raport cu punctul de defect, [14];

f) se determină I_{scd}, conform par. 3.74. pct. 3;

g) cu ajutorul lui I_{scd} se determină valoarea curentului de scurtcircuit pe faza scurtcircuitată:

$$I_R = 3 \cdot I_{scd}. \tag{3.138}$$

3.8. ALEGEREA ŞI VERIFICAREA ECHIPAMENTULUI ELECTRIC DE ÎNALTĂ TENSIUNE

Echipamentul electric al unei instalaţii electrice trebuie astfel ales încît să satisfacă următoarele condiţii:

a) parametrii nominali ai echipamentului să corespundă parametrilor locului în care se instalează;

b) să reziste supratensiunilor şi curenţilor de scurtcircuit ce pot să apară în regiunile de avarie.

Curenţii de scurtcircuit solicită elementele echipamentului din punct de vedere mecanic şi termic; solicitarea electrodinamică este determinată de curentul de scurtcircuit de şoc, iar solicitarea termică de valoarea curentului de scurtcircuit şi de durata acestuia.

Verificarea echipamentului electric la solicitări mecanice şi termice în cazul curenţilor de scurtcircuit se face prin compararea mărimilor de calcul cu cele de încercare.

La alegerea şi verificarea elementului respectiv, trebuie să se aleagă locul de scurtcircuit astfel, încît curentul ce rezultă să determine solicitarea maximă posibilă a elementului.

Condiţiile de dimensionare şi verificare a echipamentului din instalaţiile electroenergetice la solicitări mecanice şi termice sînt indicate în [33].

De menţionat că generatoarele şi transformatoarele nu se verifică la acţiunea curenţilor de scurtcircuit, deoarece acestea se asigură din acest punct de vedere prin construcţia lor.

3.8.1. ÎNTRERUPTOARE

Alegerea întreruptoarelor se face pe baza următoarelor condiţii:

— tensiunea nominală

$$U_{nt} \geqslant U_{n\,reţea}; \tag{3.139}$$

— curentul nominal al întreruptorului

$$I_{ni} \geqslant I_c, \tag{3.140}$$

în care I_c este curentul cerut;

— felul instalației — de tip interior sau exterior; caracteristicile mediului ambiant;

— posibilitatea ca întreruptorul să execute RAR; în catalogul întreruptorului se precizează dacă poate executa RAR, ce durată trebuie să aibă pauza și cu ce tip de dispozitiv de declanșare este dotat. Timpul de pauză este determinat de durata de rupere — stabilire (maxim 0,3 s) a întreruptorului;

— puterea de rupere a întreruptorului să fie mai mare decît puterea de scurtcircuit în punctul în care se montează:

$$S_r \geqslant S_{sc}. \tag{3.141}$$

Întreruptorul ales se verifică din punct de vedere al stabilității termice și electrodinamice.

Condiția ca întreruptorul să reziste la solicitarea termică este:

$$I_{1t} \geqslant I_{sc\,m},$$

în care: I_{1t} este curentul limită termic pentru o secundă, dat în catalog, în kA;

$I_{sc\,m}$ — curentul mediu echivalent al scurtcircuitului,

$$I_{sc\,m} = I_{sc\,0}\sqrt{(m+n)\cdot t}\ \text{[kA]}, \tag{3.142}$$

în care: m este un coeficient ce ține seama de aportul componentei aperiodice a curentului de scurtcircuit; se determină din figura 3.31, *a* în funcție de timpul total al defectului și de factorul de șoc K_s (fig. 3.27);

n — coeficient care ține seama de variația în timp a valorii eficace a componentei periodice; se determină din figura 3.31, *b* în funcție de timpul total de declanșare t_{sc} și de raportul $\beta = \dfrac{I_{sc\,0}}{I_{sc\,p}}$;

t_{sc} — timpul total de declanșare, format din: timpul de deschidere al contactelor (indicat în catalog) plus timpul de rupere al arcului (0,15 pentru $U_n \leqslant 35$ kV și 0,08 s pentru $U_n > 35$ kV).

Observații: *1.* Dacă în prospectul întreruptorului este indicat curentul limită termic I_{tt} pentru o durată de timp t, diferită de 1 secundă, atunci

$$I_{1t} = I_{tt}\sqrt{t}. \tag{3.143}$$

2. În cazurile cînd există RAR funcționînd după schema $D - T_1 - ID - T_2 - TD$, atunci curentul mediu de scurtcircuit corespunzător celor trei deschideri se calculează cu relația:

$$I_{sc\,m} = \sqrt{I^2_{sc\,m1} + I^2_{sc\,m2} + I^2_{sc\,m3}}. \tag{3.144}$$

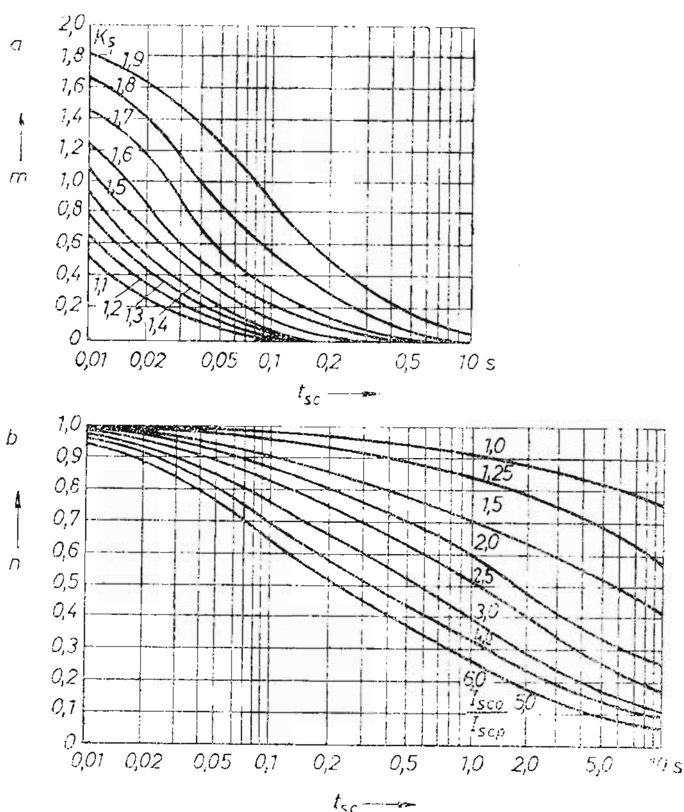


Fig. 3.31. Nomograme pentru calculul curentului mediu echivalent al scurtcircuitului:
a — determinarea coeficientului *m*; *b* — determinarea coeficientului *n*.

Întreruptorul este stabil din punct de vedere al solicitărilor electrodinamice dacă:

$$i_s \leqslant I_{ld}, \qquad (3.145)$$

în care I_{ld} este curentul limită dinamic al întreruptorului, indicat în catalog.

3.8.2. SEPARATOARE

Alegerea separatoarelor se face pe baza următoarelor condiții:
— tensiunea nominală

$$U_{n\,s} \geqslant U_{n\,rețea}; \qquad (3.146)$$

— curentul nominal al separatorului

$$I_{n\,s} \geqslant I_c; \qquad (3.147)$$

— felul instalației — de tip interior sau exterior; caracteristicile mediului ambiant.

Separatorul ales se verifică la stabilitate termică și electrodinamică în același mod ca întreruptoarele.

3.8.3. BOBINE DE REACTANȚĂ (REACTOARE)

Tensiunea nominală este determinată de tensiunea instalației.

Curentul nominal I_{nB} se ia circa 60 ... 70% din curentul nominal al unei secții de bare (pentru reactoarele de bare) și egal cu curentul liniei (pentru reactoarele de pe linii).

Reactanța procentuală se alege în limitele:

10% ... 12% pentru reactoarele de bare și 4% ... 6% pentru cele de linie.

3.8.4. TRANSFORMATOARE DE CURENT

Tensiunea nominală și curentul nominal primar I_{1n} se aleg ca și la întreruptoare sau separatoare. Felul și tipul sînt impuse de locul în care se montează.

Clasa de precizie se alege în funcție de aparatele montate în circuitul secundar și anume:

— clasa 0,2 se folosește la măsurători de precizie;

— clasa 0,5 pentru contoarele de energie electrică;

— clasa 1 pentru măsurători normale de exploatare și pentru relee de distanță și putere;

— clasa 3 pentru relee de curent, diferențiale și de semnalizări.

Clasa de precizie indicată în cataloagele transformatoarelor de curent se respectă dacă curentul prin transformator este cel nominal și dacă sarcina secundară este cuprinsă între 25% și 100% din cea indicată în catalog.

Pentru alegerea transformatoarelor de curent este necesar să se întocmească schema de conexiuni trifilară a instalației de măsură, pentru a se putea stabili impedanța de sarcină a transformatorului de curent [48].

Neglijînd reactanța circuitelor de măsură, impedanța de sarcină este dată de relația:

$$Z_2 \approx r_2 = \Sigma r_{ap} + r_{cond} + r_{cont}, \tag{3.148}$$

în care: r_{ap} este rezistența aparatelor de măsură;

r_{cond} — rezistența conductoarelor de legătură;

r_{cont} — rezistențele de contact (se ia aproximativ 0,1Ω pentru toate contactele din circuit).

În acest caz, puterea consumată de circuitul secundar la curentul nominal este:

$$P_2 = I_{2n}^2 \cdot r_2.$$

Se impune ca

$$P_2 \leqslant P_{2n}. \tag{3.149}$$

Verificarea la stabilitatea electrodinamică impune îndeplinirea condiției:

$$i_s \leqslant \sqrt{2} I_{ld},$$

în care I_{ld} este curentul limită dinamic indicat cu catalog funcție de tipul transformatorului de curent.

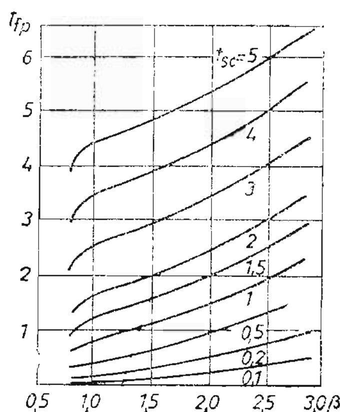


Fig. 3.32. Diagrama pentru determinarea timpului t_{fp}.

Verificarea la stabilitate termică se face pe baza condiţiei:

$$I^2_{sc\,p} \cdot t_f \leqslant I^2_{lt} \cdot t_{lt}, \quad (3.150)$$

în care: I_{lt} este curentul limită termic al transformatorului de curent, pentru timpul t_{lt} (indicat în catalog);

t_f — timpul fictiv total: $t_f = t_{fp} + t_{fa}$; t_{fp}, timpul fictiv periodic, care se determină din figura 3.32 funcţie de durata t_{sc} a scurtcircuitului şi de raportul $\beta = \frac{I_{sc\,0}}{I_{sc\,p}}$;

t_{fa} — timpul fictiv aperiodic, care se determină cu relaţia $t_{fa} = 0{,}05\ \beta^2$. Deoarece $t_{fa} \approx 0{,}05$ s, la $t_{sc} > 1$ s acesta poate fi considerat neglijabil faţă de timpul t .

3.8.5. TRANSFORMATOARE DE TENSIUNE

Tensiunea nominală primară este funcţie de schema de conexiuni a înfăşurărilor primare (fig. 3.33) şi va avea valorile:

$U_{1n} = U_{n\,reţea}$ (pentru figura 3.33, *a* şi *b*);

$U_{1n} = \frac{U_{n\,reţea}}{\sqrt{3}}$ (pentru figura 3.33, *c*, *d*, *e*, *f*, *g* şi *h*).

Observaţii. *1.* Transformatoarele de tensiune vor admite o creştere permanentă a tensiunii reţelei cu 20% peste cea nominală. Pentru transformatoarele fabricate în ţară, această condiţie este automat asigurată prin construcţie.

2. Transformatoarele de tensiune fabricate în ţară nu pot funcţiona la tensiuni mai mici de 80% din tensiunea nominală; în caz contrar erorile de măsură depăşesc limita admisibilă.

Tensiunea nominală secundară are valorile:

$U_{2n} = 100$ V (pentru figura 3.33, *a* şi *b*);

$U_{2n} = \frac{100}{\sqrt{3}}$ V (pentru figura 3.33, *c*, *d*, *e*, *f*, *g* şi *h*).

Tensiunea nominală a înfăşurărilor secundare auxiliare (pentru măsurarea componentei homopolare) va fi:

— în cazul reţelelor cu neutrul izolat sau legat la pămînt prin bobină de stingere (fig. 3.33, *d* şi *f*):

$$U_{3n} = \frac{100}{3}\ [\mathrm{V}]; \quad (3.151)$$

— în cazul reţelelor cu neutrul legat direct la pămînt, (fig. 3.33 *h*):

$$U_{3n} = 100\ \mathrm{V}. \quad (3.152)$$

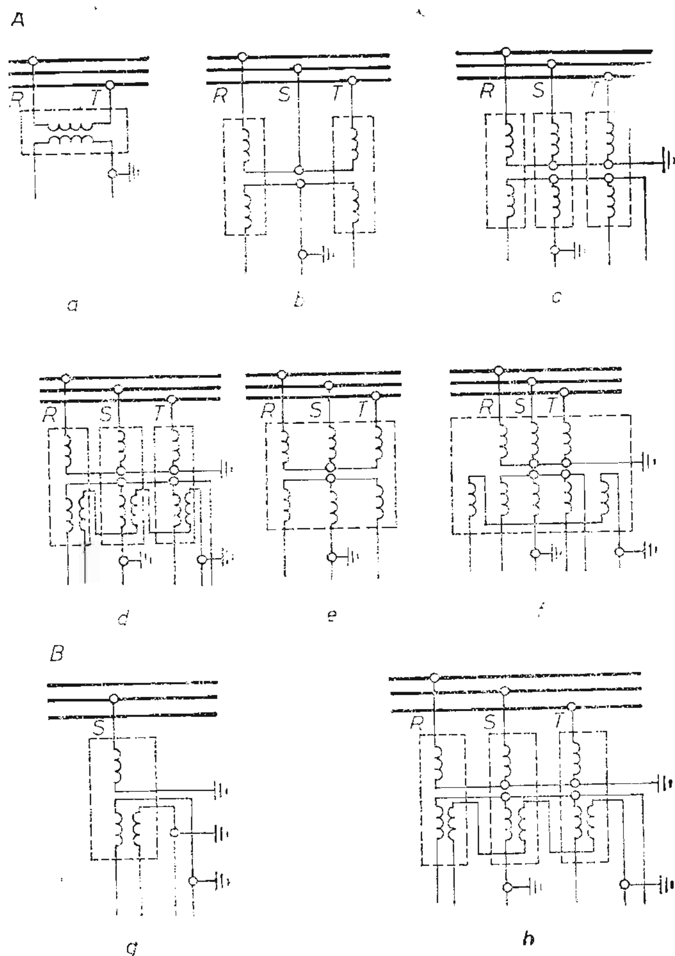


Fig. 3.33. Modurile de racordare a transformatoarelor de tensiune:

A — rețea cu neutru izolat sau legat la pămînt prin bobina de stingere: *a* — transformator monofazat; *b* — două transformatoare monofazate în V; *c* — trei transformatoare monofazate în stea, cu o singură înfășurare secundară; *d* — trei transformatoare monofazate în stea, cu două înfășurări secundare; *e* — transformator trifazat în stea, avînd miezul magnetic cu trei coloane; *f* — transformator trifazat în stea avînd miezul magnetic cu cinci coloane.
B — rețea cu neutru legat direct la pămînt: *a* — un transformator monofazat; *b* — trei transformatoare monofazate în stea.

Puterea consumată de fiecare înfășurare nu va depăși puterea nominală a acesteia. Se recomandă ca fazele să fie încărcate cît mai uniform.

Dacă puterea nominală a înfășurării este depășită, se poate adopta una din următoarele soluții, care urmează a fi justificată economic:

— alegerea unor transformatoare de tensiune cu o putere secundară nominală mai mare;

— alegerea unor transformatoare de tensiune cu mai multe înfășurări secundare și repartizarea corespunzătoare a aparatelor alimentate;

— dublarea transformatoarelor de tensiune, fiecare dintre ele alimentînd o parte din aparate.

Referitor la clasa de precizie:

— pentru alimentarea aparatelor de măsură este necesară de regulă clasa de precizie 0,5;

— pentru alimentarea aparatelor de protecție și automatizare sînt necesare următoarele clase de precizie: clasa 1 — pentru regulatoare de

tensiune, relee direcţionale şi de distanţă ; clasa 3 — pentru relee de tip voltmetric.

În cazurile în care acelaşi înfăşurare alimentează mai multe categorii de aparate, care necesită clase de precizie diferite, înfăşurarea va avea clasa de precizie cea mai bună dintre cele necesare.

Transformatoarele de tensiune nu se verifică la stabilitate electrodinamică şi termică, deoarece ele nu sînt supuse acţiunii curenţilor de scurtcircuit.

3.8.6. SIGURANŢE FUZIBILE DE ÎNALTĂ TENSIUNE

Alegerea siguranţelor fuzibile se face pe baza următoarelor condiţii :

— felul instalaţiei (pentru montaj interior se aleg SFI sau SFIT, iar pentru montaj exterior SFE sau SFET) ;

— numărul de poli (pe fiecare fază se foloseşte cîte o siguranţă) ;

— tensiunea nominală şi curentul nominal al fuzibilului se aleg ca şi la întreruptoare ;

— fuzibilul nu se topeşte la curentul de suprasarcină al circuitului pe o durată delimitată, fapt care se verifică cu ajutorul caracteristicii timp-curent ;

— fuzibilul suportă şocurile de curent de scurtă durată care apar în regim normal, fără a se topi ;

— este asigurată selectivitatea.

Observaţie. Pentru transformatoarele tipizate cu puteri nominale pînă la 1 000 kVA, curenţii nominali ai siguranţelor fuzibile pe partea de înaltă tensiune sînt indicaţi în tabelul 3.58.

Tabelul 3.58

Curenţii nominali ai siguranţelor de înaltă tensiune pentru protecţia transformatoarelor trifazate (valori informative)

Puterea nominală a transformatorului [kVA]	Curentul nominal al fuzibilelor, în A, la diverse tensiuni nominale				
	6 kV	10 kV	15 kV	20 kV	35 kV
25	10	6,3	6,3	6,3	6,3
40	10	6,3	6,3	6,3	6,3
63	16	10	10	6,3	6,3
100	25	16	10	10	6,3
160	40	25	16	16	10
250	63	31,5	25	25	16
400	80	40	40	31,5	25
630	100	63	63	40	31,5
1 000	150	80	80	63	40

— Capacitatea de rupere a siguranţei :

$$I_{rf} \geqslant I_{sc0}, \qquad (3.153)$$

în care I_{rf} este curentul de rupere simetric nominal al fuzibilului (tab. 3.20).

3.8.7. DESCĂRCĂTOARE CU REZISTENȚĂ VARIABILĂ

Descărcătoarele cu rezistență variabilă se aleg pe baza următoarelor condiții:

— tensiunea nominală a descărcătorului se alege astfel încît să îndeplinească condiția:

$$U_{nD} \geq \frac{\alpha_p \cdot U_{MS}}{100}, \qquad (3.154)$$

în care: U_{nD} este tensiunea nominală a descărcătorului, în kV;
U_{MS} tensiunea maximă de serviciu a rețelei (între faze), în kV (tab. 3.59);
α_p — coeficientul de legare la pămînt în punctul de instalare a descărcătorului, în %;

Tabelul 3.59

Tensiunile maxime de serviciu ale rețelelor de energie din R. S. România (STAS 6484-67)

Tensiunea nominală, în kV	6	10	15	20	25	35	60	110	220	400
Tensiunea maximă de serviciu, în kV	7,2	12	17,5	24	30	42	72,5	125	245	420

— curentul de descărcare nominal — se alege:
— 10 kA la instalațiile importante și cu tensiuni $U \geq 110$ kV;
— 5 kA sau mai mic, la instalațiile mai puțin importante.

Pentru descărcătoarele legate la punctele neutre ale transformatoarelor cu izolație plină

$$U_{nD} \geq 0{,}7 U_{MS}. \qquad (3.155)$$

După alegerea descărcătorului se verifică raportul de protecție R_p, pentru a vedea dacă protecția acestuia asupra echipamentului considerat este satisfăcătoare:

$$R_p = \frac{U_i}{U_p'} \geq 1{,}1 \ldots 1{,}2, \qquad (3.156)$$

în care: U_i este tensiunea de încercare la impuls a izolației echipamentului protejat, în kV (tab. 3.60);
U_p' — nivelul de protecție local al echipamentului considerat conform relației

$$U_p' = U_p + \frac{2 \cdot a \cdot l}{k} \text{ [kV]}; \qquad (3.157)$$

U_p — nivelul de protecție la impuls la bornele descărcătorului, valoarea de vîrf a tensiunii de amorsare pe frontul undei, în kV — tabelul 3.23;
a — panta undelor de tensiune incidente, raportată la unitatea de lungime, în kV/m; $a = 0{,}5 \div 1{,}7$ kV/m pentru LEA protejate efectiv; $a = 1{,}5 \div 3{,}3$ kV/m pentru LEA neprotejate efectiv;

Tabelul 3.60

Nivelele de protecție la impuls pentru echipamentul de interior și de exterior, conform STAS 6489-67

Tensiunea nominală (valoare efectivă) [kV]	Tensiunea maximă de serviciu (valoare efectivă) [kV]	Tensiunea maximă admisibilă a nivelelor de protecție (amplitudine) [kV]	
		Coloana 1 Izolație plină	Coloana 2 Izolație redusă
3	3,6	26	—
6	7,2	38	—
10	12	55	—
15	17,5	75	—
20	24	95	—
25	30	115	—
35	42	150	—
60	72,5	250	—
110	125	410	355
220	245	800	680
400	420	—	1 100

l — distanța dintre descărcător și echipamentul considerat, măsurată în lungul circuitelor, în m;

k — coeficient care ține seama de influența schemei electrice a instalației asupra propagării și reflexiei undelor: $k = 1$, pentru stații la care sînt racordate una sau două linii; $k = 1,5$, pentru stații la care sînt racordate în permanență cel puțin trei linii.

Observație. Dacă valoarea lui R_p este nesatisfăcătoare, se pot lua diverse măsuri dintre care în primul rînd se recomandă reducerea distanței l prin instalarea de descărcătoare suplimentare.

3.9. PROTECȚIA INSTALAȚIILOR DE ÎNALTĂ TENSIUNE

Pentru asigurarea unei funcționări normale a instalațiilor și pentru evitarea deteriorării echipamentului se folosesc dispozitive automate de protecție prin relee.

Protecția prin relee și automatizarea istalațiilor trebuie să asigure limitarea avariilor apărute și asigurarea alimentării fără întrerupere cu energie electrică, în condiții de calitate și siguranță.

Ea are în general două funcțiuni principale:

— separarea elementului avariat de restul instalațiilor electrice și asigurarea funcționării în continuare a acestora, în condiții normale;

— sesizarea regimurilor anormale (nepermise) de funcționare a instalațiilor electrice și semnalizarea lor, pentru a se preveni apariția unor avarii.

Pentru îndeplinirea acestor două funcţiuni fundamentale, dispozitivele de protecţie, indiferent de tipul sau principiul constructiv pe care se bazează, trebuie să satisfacă următoarele condiţii generale:

— *selectivitatea*, adică deconectarea doar a elementului avariat şi permiterea funcţionării în continuare a instalaţiilor neavariate;

— *sensibilitatea*, adică sesizarea tuturor defectelor şi a regimurilor anormale de funcţionare, atunci cînd ele se deosebesc doar cu puţin de regimul de funcţionare normal al instalaţiilor;

— *rapiditatea*, care este necesară pentru că numai o deconectare rapidă a elementelor avariate poate rămîne fără urmări asupra funcţionării instalaţiilor neavariate;

— *siguranţa*, adică acţionarea numai în cazul cînd este necesar.

3.9.1. PRINCIPALELE TIPURI DE PROTECŢIE PRIN RELEE

Tipurile principale de protecţie prin relee sînt: protecţia de curent, de tensiune, direcţională, diferenţială, de distanţă şi cu relee de gaze.

1. Protecţia de curent se realizează cu relee maximale de curent, de cele mai multe ori secundare; protecţia acţionează atunci cînd curentul I prin elementul protejat creşte peste o anumită valoare denumită curentul de pornire a protecţiei I_{pp}, adică:

$$I > I_{pp}, \tag{3.158}$$

$$I_{pp} = I_{pr} \cdot n_{TC},$$

în care: I_{pr} este valoarea curentului de pornire al releului;
n_{TC} — raportul de transformare al transformatoarelor de curent care alimentează releele.

Pentru ca protecţia de curent să nu acţioneze în regim normal este necesar să fie îndeplinite condiţiile:

$$I_{pp} > I_n \tag{3.159}$$

şi

$$I_{pp} > I_{SM},$$

în care I_{SM} este curentul maxim de sarcină.

Protecţia maximală de curent deşi are o sensibilitate redusă este cea mai utilizată, deoarece este una din cele mai simple şi economice protecţii.

În practică, cele mai frecvente tipuri de protecţii maximale de curent sînt următoarele.

a) Protecţia maximală de curent cu secţionare se foloseşte pentru a proteja elementul împotriva scurtcircuitelor. În acest caz curentul de pornire al protecţiei este:

$$I_{pp} = K_{sig} \cdot I_{sc}, \tag{3.160}$$

în care: K_{sig} este un coeficient de siguranţă care se ia între limitele $1{,}1 \div 1{,}15$;
I_{sc} — curentul de scurtcircuit din cel mai apropiat punct exterior al zonei protejate.

Protecția acționează instantaneu.

b) Protecția maximală de curent temporizată se folosește împotriva suprasarcinilor, a scurtcircuitelor polifazate și împotriva punerilor la pămînt.

Curentul de pornire al protecției este

$$I_{pp} = \frac{K_{sig}}{K_{rev}} \cdot I_{SM}, \qquad (3.161)$$

în care: K_{sig} este un coeficient de siguranță $(1,2 \div 1,5)$;
K_{rev} — coeficientul de revenire al releului maximal de curent $(0,8 \div 0,9)$;
I_{SM} — curentul maxim de sarcină, în A.

Temporizarea protecției se realizează cu un releu de timp. Pentru realizarea selectivității protecției, temporizările releului de timp se aleg în trepte, astfel încît de la sursă spre consumator temporizarea la fiecare treaptă să fie cu Δt mai mică. Treapta de timp este $\Delta t = 0,5$ secunde pentru relee indirecte și 1 secundă pentru relee directe.

2. Protecția de tensiune acționează atunci cînd tensiunea scade (protecția minimală) sau crește (protecție maximală) peste valoarea reglată. Protecția se realizează cu relee de tensiune (minimale sau maximale). În acest caz condițiile pentru funcționarea protecției sînt:

— la protecție minimală de tensiune:

$$U < U_{pp}; \quad U_{pp} < U_n; \quad U_{pp} < U_{min.\,expl.} \qquad (3.162)$$

În aceste relații:

U_{pp} este tensiunea de pornire a protecției;
U — tensiunea rețelei;
U_n — tensiunea nominală a rețelei;
$U_{min.expl.}$ — tensiunea minimă admisă în exploatare;

— la protecție maximală de tensiune:

$$U > U_{pp}; \quad U_{pp} > U_n \quad U_{pp} > U_{min.\,expl.} \qquad (3.163)$$

3. Protecția direcțională acționează numai în cazul în care apare o modificare importantă a defazajului dintre curentul și tensiunea din circuitul protejat. Protecția se realizează cu ajutorul releelor direcționale numite și relee de putere. Protecția direcțională se utilizează în combinație cu alte protecții, cum este spre exemplu protecția maximală de curent sau protecția de distanță, în rețelele cu alimentare de la două capete.

4. Protecția diferențială acționează numai în cazul în care apare o diferență între valorile curenților de la cele două capete ale zonei protejate. Zona protejată este delimitată de transformatoarele de curent care se leagă diferențial.

5. Protecția de distanță se realizează cu relee de impedanță, care acționează atunci cînd impedanța circuitului protejat se micșorează sub valoarea reglată.

6. *Protecția cu relee de gaze* (Buchholz) se folosește exclusiv pentru transformatoarele și autotransformatoarele de putere în ulei. Funcționarea protecției se bazează pe degajarea de gaze, care se produce în cazul defectelor survenite în interiorul transformatorului. Protecția se realizează cu relee Buchholz care se montează pe conducta de legătură dintre cuvă și conservator.

Avantajele protecției de gaze sînt : simplitate, sensibilitate, rapiditate, comanda semnalizării sau a declanșării în funcție de caracterul defectelor ; este cea mai sensibilă dintre protecțiile transformatorului în cazul scurtcircuitelor între spire.

3.9.2. PROTECȚIA TRANSFORMATOARELOR

Transformatoarele se prevăd cu protecții prin relee împotriva următoarelor defecte sau regimuri anormale de funcționare :

— scurtcircuite polifazate între înfășurări sau între bornele acestora ;

— scurtcircuite între spirele aceleași înfășurări ;

— scurtcircuite monofazate în rețelele cu neutrul legat direct la pămînt ;

— supracurenți prin înfășurări, provocați de scurtcircuite sau suprasarcini exterioare ;

— scăderea nivelului uleiului și degajări de gaze provocate de defecte în interiorul cuvei ;

— supratemperaturi.

Protecțiile împotriva defectelor și a regimurilor anormale de funcționare enumerate mai sus, trebuie să fie prevăzute cu declanșare, semnalizare sau descărcare automată a sarcinii, după cum urmează.

a) Pentru transformatoarele cu putere de 1 000 kVA și mai mare se prevede o protecție de gaze împotriva defectelor din interiorul cuvei transformatorului ; protecția trebuie să acționeze la semnalizare în cazul unor slabe degajări de gaze, la scăderea nivelului uleiului și să declanșeze întreruptoarele în cazul degajării intense de gaze.

b) Pentru protecția împotriva defectelor interioare precum și pentru protecția împotriva defectelor de la borne se prevede fie o protecție diferențială, fără temporizare, la transformatoarele cu o putere de 1 000 kVA sau mai mare, fie o secționare de curent, fără temporizare, instalată pe partea alimentării și protejînd o parte a înfășurării transformatorului. Protecția comandă declanșarea întreruptoarelor.

c) Împotriva curenților provocați de scurtcircuitele exterioare, se prevăd una din următoarele protecții prevăzute cu declanșare :

— o protecție de distanță cu caracteristică de acționare în trepte bidirecționată, montată pe partea alimentării principale sau două protecții de distanță direcționate spre transformator la transformatoarele cu o putere de 200 MVA sau mai mare ;

— o protecție maximală de curent de secvență inversă, cu anexă pentru acționare la scurtcircuite simetrice sau o protecție maximală cu blocaj de tensiune minimă la transformatoarele cu o putere de 4 000 kVA sau mai mare ;

— o protecție maximală de curent, cu sau fără blocaj de tensiune minimă, la transformatoarele coborîtoare de tensiune ;

— o protecţie cu siguranţe pe partea de înaltă tensiune la transformatoarele cu o putere de maximum 1 000 kVA care alimentează reţele sau instalaţii cu tensiune sub 1 000 V.

d) Transformatoarele cu puteri de la 10 MVA în sus vor fi prevăzute cu o protecţie de semnalizare a supratemperaturilor.

În figura 3.34 este prezentată schema generală de protecţie a unui transformator de 10 MVA, 110/6 kV.

Calculul detaliat al pretecţiilor este prezentat în lucrarea [2].

3.9.3. PROTECŢIA LINIILOR ELECTRICE

Protecţia liniilor electrice depinde de modul de tratare a neutrului în reţea.

a) În reţelele cu neutrul izolat sau tratat prin bobine de stingere, liniile electrice aeriene şi în cablu se vor proteja împotriva următoarelor tipuri de defecte:

— scurtcircuite între faze;

— puneri la pămînt pe două faze (dublă punere la pămînt pe faze diferite);

— puneri la pămînt monofazate.

Protecţiile împotriva acestor defecte se realizează de regulă cu o singură treaptă temporizată şi se montează pe două faze; în cazul în care temporizarea declanşării perturbă consumatorii racordaţi pe liniile învecinate neavariate sau se obţin timpi mai mari de 3 secunde la protecţiile de rezervă ale transformatoarelor din amonte cu tensiunea înaltă de 100 kV sau mai mult, se admite ca protecţia contra scurtcircuitelor între faze să se realizeze cu două trepte.

Pentru liniile radiale se prevede o protecţie maximală de curent în două trepte: prima va fi instantanee (secţionare de curent), iar a doua temporizată; protecţia se va instala pe două faze numai la capătul de alimentare.

La liniile electrice cu tensiunea peste 20 kV, urmate de încă cel puţin două linii succesivă, se poate monta o protecţie de distanţă.

Liniile alimentate de la amble capete vor fi protejate printr-o protecţie maximală de curent direcţională, în două trepte.

b) În reţelele cu neutrul legat direct la pămînt sau prin rezistenţă, liniile electrice se vor proteja împotriva scurtcircuitelor polifazate şi monofazate printr-o protecţie de bază şi una de rezervă.

La liniile radiale cu staţie de capăt, protecţia împotriva defectelor între faze se va realiza cu o protecţie maximală cu două trepte de curent şi de timp; treapta de timp mai scurt se va desensibiliza faţă de curentul de scurtcircuit de pe bara de joasă tensiune a staţiei şi poate fi cu o treaptă de timp superioară protecţiei rapide împotriva defectelor interioare ale transformatoarelor.

Protecţia împotriva defectelor monofazate constă dintr-o protecţie maximală de curent homopolar într-o singură treaptă temporizată, care respectă condiţiile indicate mai sus; protecţia va asigura întreaga linie şi întreaga înfăşurare a transformatoarelor pe partea pe care neutrul este legat la pămînt.

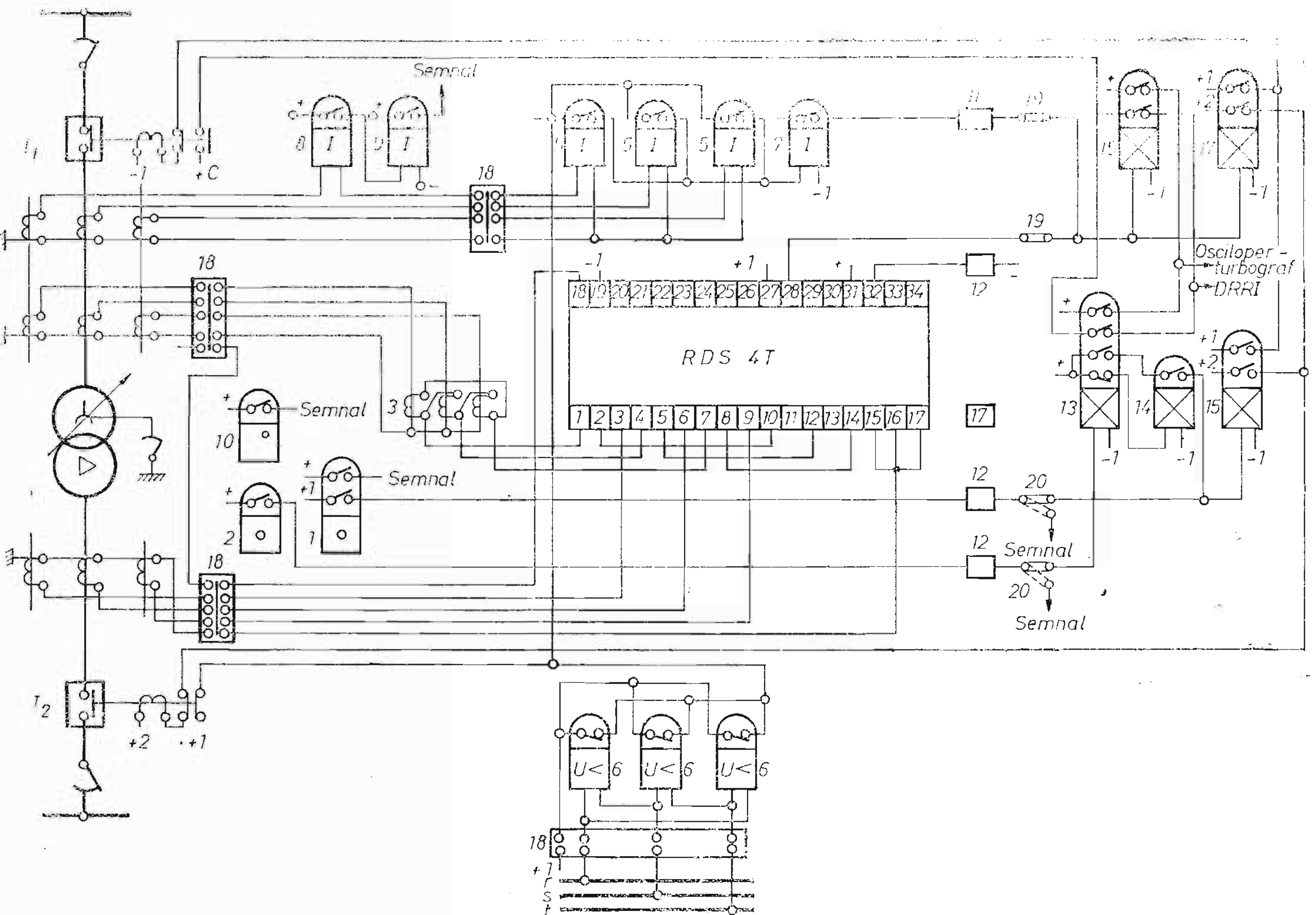


Fig. 3.34. Schema generală de protecţie a unui transformator de 10 MVA, 110/6 kV, cu reglaj în sarcină:

1 — releu cu gaze; *2* — releu de presiune; *3* — transformator de egalizare; *4*—releu diferenţial; *5, 8* — relee de curent; *6* — releu de tensiune; *7, 9* — relee de timp; *10* — releu de temperatură; *11, 12* — relee de semnalizare; *13—17* — relee intermediare; *18* — bloc de încercare; *19, 20*—dispozitive de deconectare.

Pentru liniile de interconexiune, protecţia de bază va fi asigurată printr-o protecţie de distanţă, iar protecţia de rezervă va fi constituită de o protecţie maximală de curent homopolar cu blocaj direcţional, cu una sau două trepte.

3.9.4. PROTECŢIA BARELOR COLECTOARE ŞI A CUPLELOR

Pentru barele colectoare se preferă utilizarea protecţiei diferenţiale care acţionează fără temporizare la declanşarea tuturor elementelor conectate la bara defectată.

Cuplele transversale şi combinate vor fi prevăzute cu sisteme de protecţie care să poată constitui rezerva protecţiei oricărei linii racordate la barele respective, în cazul în care protecţia proprie a liniei este indisponibilă; de asemenea, aceeaşi protecţie trebuie să permită şi separarea celor două sisteme de bare la defecte pe liniile racordate la bare neizolate de întreruptoarele respective sau la defecte pe bare. Protecţiile adoptate pentru cuplele combinate sînt aceleaşi ca şi pentru linii.

Pentru cuplele longitudinale se va prevedea o protecţie maximală nedirecţională.

Cuplele de transfer echipate cu transformatoare de curent se vor prevedea cu aceleaşi sisteme de protecţie şi dispozitive de reanclanşare ca la majoritatea liniilor racordate la barele respective; în cazul cînd cuplele de transfer nu sînt prevăzute cu transformatoare de curent, întreruptorul cuplei va fi declanşat de protecţia ataşată elementului trecut pe întreruptorul cuplei.

3.9.5. PROTECŢIA RECEPTOARELOR ALIMENTATE ÎN MEDIE TENSIUNE

Principalele receptoare alimentate direct de la barele de medie tensiune sînt motoarele electrice asincrone sau sincrone. Motoarele electrice cu tensiunea de la 1 kV în sus vor fi prevăzute cu protecţii prin relee împotriva următoarelor defecte sau regimuri anormale de funcţionare:

— scurtcircuite polifazate în înfăşurarea statorului;

— puneri la pămînt în înfăşurarea statorului;

— defecte în înfăşurarea rotorului: scurtcircuite polifazate sau puneri la pămînt;

— suprasarcini;

— scăderea tensiunii de alimentare sub limitele admise;

— funcţionarea în regim asincron a motoarelor sincrone;

— întreruperea ungerii sau a ventilaţiei forţate.

Protecţia la scurtcircuit a motoarelor electrice se realizează prin:

— protecţie maximală rapidă, desensibilizată faţă de curenţii de pornire, pentru motoare cu puterea mai mică de 5 MW; protecţia se realizează cu relee maximale de curent cu caracteristică independentă, de tipul RC—1;

— protecţie diferenţială longitudinală, montată de regulă pe două faze, pentru motoarele electrice cu puteri mai mari de 5 MW sau pentru

cele sub 5 MW la care protecția maximală rapidă nu asigură sensibilitatea necesară.

Protecția contra punerilor monofazate la pămînt a circuitului statoric la motoarele pentru tensiuni peste 1 kV racordate la rețele cu neutrul izolat se aplică :

— la motoarele sub 2 MW, cînd curentul de punere la pămînt, respectiv curentul rezidual depășesc 10 A ;

— la motoarele de 2 MW și mai mari, cînd curentul de punere la pămînt, respectiv curentul rezidual depășesc 5 A.

Protecția contra suprasarcinilor se realizează printr-o protecție maximală de curent, cu relee maximale de curent sau tensiune, cu o temporizare de minimum 10 s ; protecția acționează obișnuit la semnalizare sau declanșare, în cazurile în care motoarele lucrează fără supraveghere permanentă, au condiții grele de pornire și autopornire sau nu pot fi descărcate fără oprire.

Protecția contra scăderilor de tensiune comandă deconectarea motorului și se prevede :

— cînd deconectarea ușurează autopornirea altor motoare de importanță mai mare în procesul tehnologic ;

— cînd motoarele sînt conectate la rețea prin aparate de pornire acționate manual ;

— cînd autopornirea motoarelor nu este permisă de procesul tehnologic sau este periculoasă pentru securitatea personalului de exploatare.

În alte cazuri acest gen de protecție nu este indicat.

În figura 3.35 este indicată protecția unui motor asincron utilizînd releele secundare, iar în figura 3.36 — cu relee de curent primare.

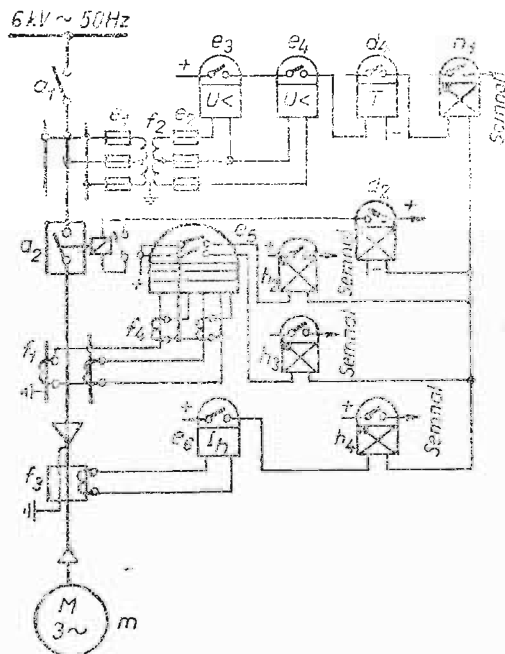


Fig. 3.35. Schema electrică pentru protecția unui motor asincron de înaltă tensiune de uz normal, utilizînd relee secundare.

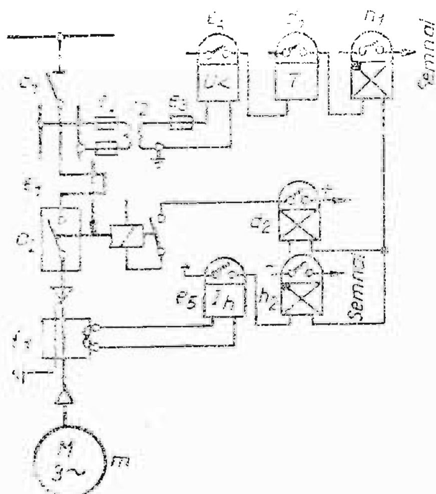


Fig. 3.36. Schema electrică pentru protecția unui motor asincron de înaltă tensiune utilizînd relee de curent primare.

3.9.6. ANCLANȘAREA AUTOMATĂ A ALIMENTĂRII DE REZERVĂ (AAR)

Anclanșarea automată a alimentării de rezervă are drept scop creșterea siguranței în funcționare, asigurarea continuității în alimentarea cu energie electrică, simplificarea schemelor de alimentare pentru anclanșarea de siguranță, reducerea personalului de exploatare.

Prin AAR se înțeleg dispozitivele care în cazul deconectării din orice cauză a alimentării normale, conectează automat alimentarea de rezervă.

Dispozitivele AAR se prevăd în stațiile și posturile de transformare care au două căi de alimentare pentru barele care, rămase fără tensiune, ar crea întreruperi în alimentarea consumatorilor importanți. Intrarea în funcțiune a AAR se face cu controlul prezenței tensiunii pe calea alimentării de rezervă; ea va fi condiționată neapărat de deconectarea prealabilă a căii normale de alimentare și se va face:

— temporizat, la dispariția tensiunii pe bara alimentată; tensiunea de reglaj se alege astfel încît AAR să nu se producă la o scădere de tensiune provocată de un defect pe altă bară;

— rapid, la declanșarea unuia din întreruptoarele alimentării normale.

Schemele AAR trebuie să semnalizeze optic punerea sau scoaterea lor din funcțiune, precum și pornirea lor; instalația AAR se prevede cu un buton sau o cheie pentru scoaterea ei din funcțiune în cazul în care se execută manevre cu întreruptorul alimentării principale sau revizii ale instalației de automatizare.

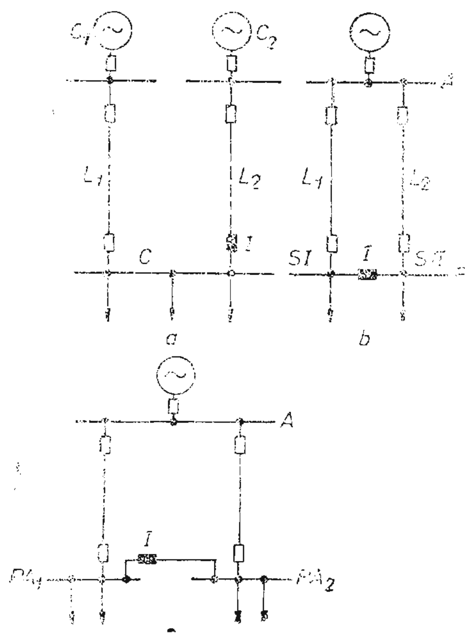


Fig. 3.37. Scheme AAR ale rețelelor de distribuție:

a, b — cu o singură stație; *c* — cu mai multe puncte de alimentare.

În figura 3.37 sînt prezentate cîteva scheme AAR caracteristice pentru rețelele de distribuție, iar în figura 3.38 — schema anclanșării automate a unei linii de rezervă.

Schema AAR este pornită de releele minimale de tensiune *(RT1, RT2)*, care acționează și excită releul de timp *(RT_p)* care după temporizarea fixată determină acționarea întregii scheme — controlul prezenței tensiunii pe barele alimentării de rezervă, declanșarea întreruptorului alimentării principale și comutarea alimentării de rezervă. La orice schemă AAR, trebuie respectate niște principii esențiale și anume:

— indiferent de cauza care determină anclanșarea automată a rezervei, aceasta se produce o singură dată, astfel că în cazul unui defect persistent pe bare să se evite anclanșări repetate;

— anclanșarea automată a rezervei se efectuează întotdeauna numai după ce întreruptorul alimentării de

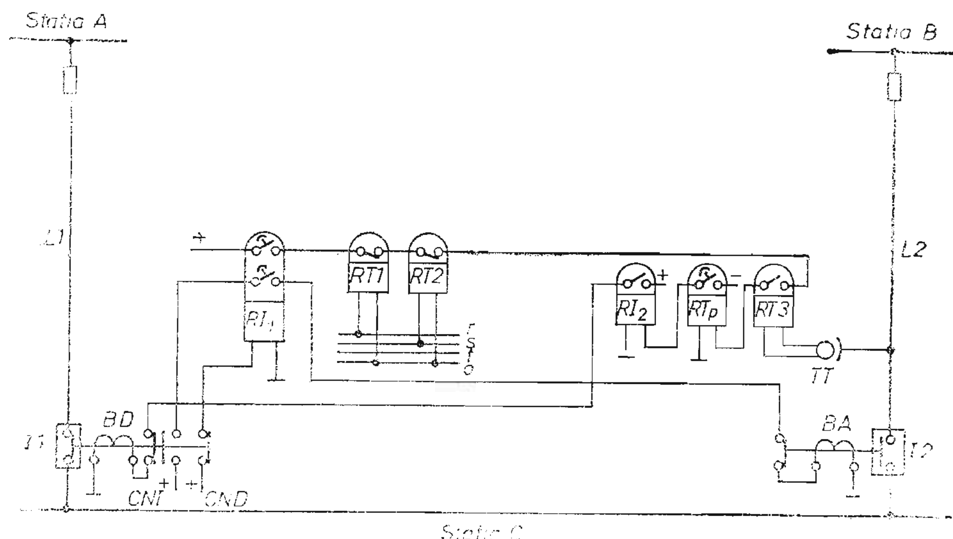


Fig. 3.38. Schema anclanșării automate a unei linii de rezervă.

bază este declanșat, pentru a se evita alimentarea prin linia de rezervă a unui defect apărut pe linia alimentării de bază;

— efectuarea anclanșării de rezervă, în cazul în care aceasta este provocată de scăderea de tensiune, numai după un prealabil control al existenței tensiunii pe linia de rezervă și numai după o anumită temporizare;

— anclanșarea automată a rezervei în cazul în care este provocată de declanșarea întreruptorului de bază se efectuează fără control și fără temporizare, întrucît într-un asemenea caz ele nu sînt necesare.

3.9.7. REANCLANȘAREA AUTOMATĂ RAPIDĂ (RAR)

Reanclanșarea automată rapidă este cea mai frecventă automatizare de rețea, utilizîndu-se la toate liniile aeriene cu tensiunea peste 1 000 V.

Un dispozitiv RAR constă dintr-o instalație complexă care realizează reanclanșarea automată a unui întreruptor declanșat, după un timp, care de regulă nu trebuie să depășească intervalul necesar pentru a se asigura prin întreruperea tensiunii stingerea arcului electric produs la locul defectului.

Soluțiile alese pentru schemele de RAR depind în mare măsură de structura și nivelul de tensiune al rețelei, de modul de tratare al punctului neutru, precum și de caracteristicile constructive ale întreruptorului la care trebuie adaptate [2].

Indiferent de schema folosită și principiul de funcționare există o serie de condiții ce trebuie îndeplinite într-o măsură cît mai mare posibilă, pentru a obține împreună cu sistemul de protecție performanțe cît mai ridicate și anume:

— reanclanșarea să se producă la declanșarea întreruptorului provocată de protecție și să nu se producă la deconectarea manuală;

— să permită blocarea reanclanșării cînd declanșarea este provocată de anumite protecții ;

— să poată fi folosit cu orice tip de întreruptor și cu orice tip de protecție ; defectarea lui să nu împiedice funcționarea corectă a protecției ;

— să permită alegerea regimului de reanclanșare monofazată sau trifazată, iar regimul ales să fie vizibil pentru personalul de exploatare ;

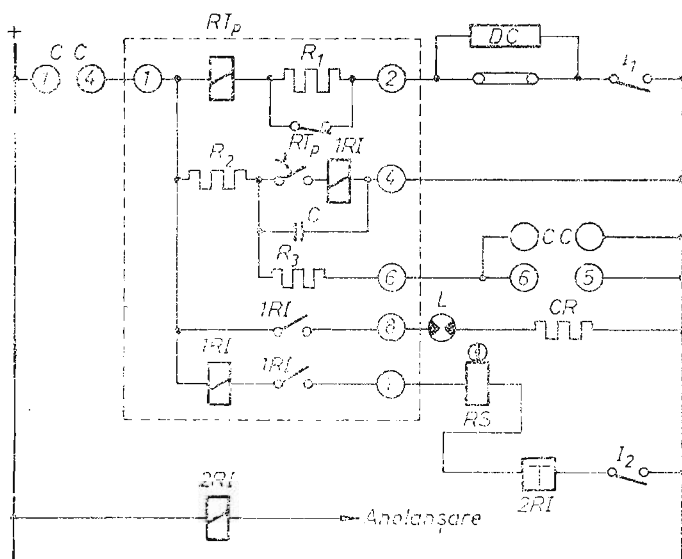
— să permită prelungirea treptei rapide a protecției de distanță [2] ;

— în cazul extinderii defectului sau apariției unui nou defect în timpul pauzei RAR, trebuie să se producă declanșarea trifazată definitivă ;

— să permită realizarea unei singure reanclanșări și să revină automat în starea în care este pregătit de acționare, după o perioadă de timp (perioadă de blocaj 5 ÷ 20 secunde) în care nu se mai produce nici o reanclanșare.

Dispozitivele RAR intră în funcțiune pe baza acționării protecției sau a necorespondenței între poziția întreruptorului și poziția cheii de comandă.

În figura 3.39 este prezentată o schemă RAR trifazată (RART) folosită în rețelele de 110 kV de la noi din țară ; schema are următoarele caracteristici :



Schema și vederea din față a pachetelor	[←]	2, 1, 3, 4		6, 5, 7, 8	
Numele contactelor		1 - 2	1 - 4	5 - 6	5 - 8
Fără RAR	←	X	—	X	—
Cu RAR	↑	—	X	—	X

Fig. 3.39. Schemă de reanclanșare automată rapidă trifazată.

— ciclul RAR intră în funcțiune pe baza necorespondenței dintre poziția cheii de comandă *CC* a întreruptorului și poziția întreruptorului *I* ;

— schema are un singur ciclu, asigurat prin descărcarea unui condensator ;

— se poate utiliza pentru reanclanșarea simplă (fără nici un control), pentru reanclanșarea cu controlul lipsei tensiunii și pentru reanclanșarea cu controlul sincronismului.

Detalii, modul de funcționare, precum și reglarea dispozitivului sînt prezentate pe larg în lucrarea [2].

3.10. COMPENSAREA CURENȚILOR CAPACITIVI ȘI TRATAREA NEUTRULUI

3.10.1. CONSIDERAȚII GENERALE

În rețelele de transport și distribuție a energiei electrice, 70–80% din defectele ce apar se datoresc punerilor temporare la pămînt monofazate prin deteriorarea izolației unei faze.

Dacă aceste defecte nu se remediază în timp util apare pericolul scurtcircuitelor bifazate și trifazate permanente.

Efectele punerii unei faze la pămînt sînt efectele termice ale arcului la locul punerii la pămînt și străpungerea izolației rețelei în mai multe puncte. În cazul rețelelor de cabluri, datorită curenților capacitivi mari, apar solicitări ale izolației care conduc la îmbătrînirea mai rapidă și străpungerea izolației.

La funcționarea în regim normal simetric este indiferent dacă neutrul transformatoarelor este izolat sau legat la pămînt.

În conformitate cu recomandările CEI, din punct de vedere al tratării neutrului se pot distinge următoarele tipuri de rețele, (fig. 3.40) :

— rețele cu neutrul izolat ;

— rețele cu neutrul legat la pămînt (rigid, prin rezistență ohmică sau reactanță inductivă) ;

— rețele cu neutrul tratat în sistem rezonant prin bobină de stingere.

În [44] se precizează cinci clase de tratarea neutrului — tabelul 3.61 delimitate de anumite valori ale raporturilor X_h/X_d și R_h/X_d, în care X_d, X_h sînt reactanțele echivalente, reduse în punctul considerat, ale rețelelor de secvență directă și respectiv homopolară, în Ω, iar R_h este rezistența ohmică a rețelei de secvență homopolară, în Ω.

În continuare se va exemplifica comportarea diferitelor tipuri de rețele în caz de avarie (punere simplă la pămînt prin deterioararea izolației unei faze) și se prezintă o analiză comparativă a principalelor elemente care determină alegerea unui sau altui sistem de tratare și anume :

— siguranța în exploatare ;

— continuitatea în alimentarea consumatorilor ;

— supratensiunile care apar în caz de avarii ;

— influența asupra liniilor de telecomunicații ;

— economicitatea.

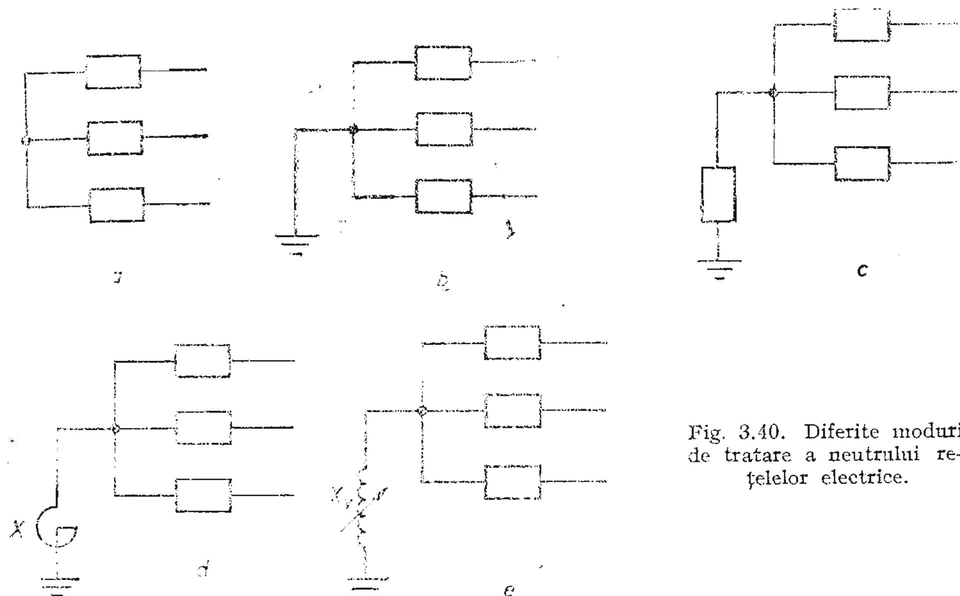


Fig. 3.40. Diferite moduri de tratare a neutrului rețelelor electrice.

Tabelul 3.61

Clase de tratare a neutrului rețelelor trifazate

Nr. crt.	Tipul rețelei	Relații de limitare		Coeficient de legare la pămînt: $\frac{U_{ef\,max}}{U_1}$ x)
		$\frac{X_h}{X_d}$	$\frac{R_h}{X_d}$	
1	Rețea cu neutrul izolat	0—40	—	condiții de rezonanță
2	Rețea cu neutrul legat rigid la pămînt	0—1	1	0,75
3	Rețea cu neutrul efectiv legat la pămînt	0—3	0—1	0,8
4	Rețea cu neutrul legat la pămînt prin rezistență	3—	1—	1,0
5	Rețea cu neutrul legat la pămînt prin bobină de stingere	40—	—	1,1

* $U_{ef\,max}$ — tensiunea efectivă maximă care poate apare între o fază sănătoasă și pămînt in timpul unei puneri la pămînt;
U_1 — tensiunea efectivă între faze în punctul considerat, fără considerarea defectului.

3.10.2. REGIMURI NESIMETRICE. TENSIUNEA DE DEPLASARE A PUNCTULUI NEUTRU

Într-o rețea trifazată cu parametrii circuitelor concentrați, admitanțele complexe între faze și pămînt și curenții prin aceste admitanțe pot fi exprimați prin:

$$\underline{Y}_R = G_R + j\,w\,C_R;$$
$$\underline{Y}_S = G_S + j\,w\,C_S; \qquad (3.164)$$
$$\underline{Y}_T = G_T + j\,w\,C_T;$$

și

$$\underline{I}_{R0} = \frac{1}{\sqrt{3}} \underline{U}_R \cdot \underline{Y}_R;$$

$$\underline{I}_{S0} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \underline{U}_S \cdot \underline{Y}_S; \qquad (3.165)$$

$$\underline{I}_{T0} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \underline{U}_T \cdot \underline{Y}_T;$$

în care: G_R, G_S, G_T și G_0 sînt conductanțele între conductoarele fazelor R, S, T și pămînt, respectiv între conductorul neutru și pămînt;

— C_R, C_S, C_T și C_0 — capacitățile fazelor, respectiv conductorului neutru față de pămînt;

— $\frac{1}{\sqrt{3}} \underline{U}_R, \frac{1}{\sqrt{3}} \underline{U}_S, \frac{1}{\sqrt{3}} \underline{U}_T$ — fazorii tensiunilor de fază.

În sistemul trifazat echilibrat și simetric cu neutrul izolat valoarea admitanței $\underline{Y}_0$ este nulă, iar suma curenților $\underline{I}_{R0}$, $\underline{I}_{S0}$, $\underline{I}_{T0}$ este egală cu zero:

$$\frac{1}{\sqrt{3}} (\underline{U}_R \underline{Y}_R + \underline{U}_S \cdot \underline{Y}_S + \underline{U}_T \underline{Y}_T) = 0. \qquad (3.166)$$

În practică, condiția de mai sus este rareori îndeplinită datorită valorilor diferite ale admitanțelor fazelor. În aceste condiții, chiar în cazul unei sarcini echilibrate, simetria sistemului este perturbată: apare o tensiune de deplasare a punctului neutru, care se determină cu relația:

$$\underline{U}_0 = \frac{\underline{U}_R \cdot \underline{Y}_R + \underline{U}_S \cdot \underline{Y}_S + \underline{U}_T \cdot \underline{Y}_T}{\underline{Y}_R + \underline{Y}_S + \underline{Y}_T}, \qquad (3.167)$$

care mai poate fi scrisă

$$\underline{U}_0 = U \cdot \frac{\underline{Y}_R + a^2 \cdot \underline{Y}_S + a\underline{Y}_T}{\underline{Y}_R + \underline{Y}_S + \underline{Y}_T}, \qquad (3.168)$$

în care U este modulul tensiunii unui sistem simetric direct de tensiune.

3.10.3. REȚELE CU NEUTRUL IZOLAT

Sînt rețelele la care punctele neutre (ale transformatoarelor) nu au nici o legătură voită cu pămîntul; acestea sînt rețele de medie tensiune și se mai numesc și rețele cu curenți mici de punere la pămînt.

În figura 3.41 se prezintă schema de calcul a unei rețele cu neutrul izolat; conductorul fiecărei faze formează față de pămînt o capacitate uniform repartizată, care, pentru linii scurte se poate considera concentrată într-un singur punct — linie cu parametrii concentrați (C_{R0}, C_{S0}, C_{T0}); valorile acestor capacități depind de poziția relativă a conductoarelor între ele și față de pămînt, de diametrul conductoarelor, de dielectricul înconjurător și de lungimea liniei (rel. 3.44).

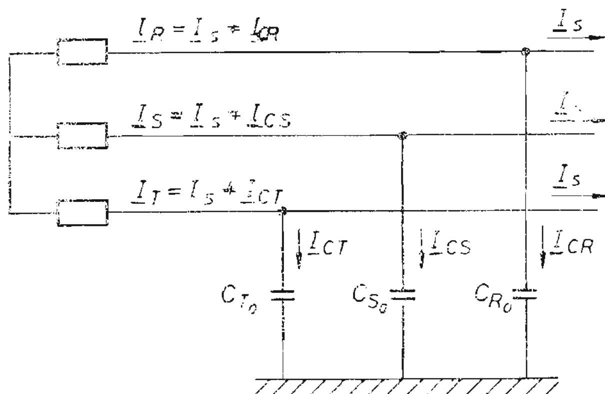


Fig. 3.41. Schema de calcul a rețelei cu neutrul izolat.

În cazul liniilor electrice executate integral în cablu și în cazul liniilor electrice aeriene cu fazele conductoarelor transpuse, capacitățile față de pămînt sînt practic egale, iar conductanțele G_R, G_S, G_T sînt neglijabile; în cazul unei sarcini simetrice, întregul sistem de tensiuni și de curenți va fi un sistem simetric.

Curenții capacitivi față de pămînt formează de asemenea un sistem de curenți trifazați simetrici, a căror sumă este nulă, ceea ce înseamnă că în regim normal de funcționare nu trece nici un fel de curent prin pămînt.

În regim normal de funcționare, curenții capacitivi sînt practic identici pe toate fazele și au valoarea:

$$I_C = U_f \cdot \omega \cdot C, \tag{3.169}$$

iar curenții pe fază sînt:

$$I = I_S + I_C, \tag{3.170}$$

în care:

I_S este curentul de sarcină;
I_C — curentul capacitiv față de pămînt al fazei respective.

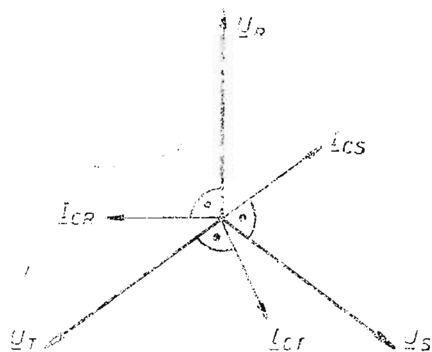


Fig. 3.42. Diagrama fazorială în regim normal de funcționare.

Avînd în vedere cele de mai sus, diagrama fazorială în regim normal de funcționare are aspectul din figura 3.42.

În cazul unei puneri monofazate la pămînt, se modifică tensiunile față de pămînt ale fazelor sănătoase și odată cu aceasta se schimbă și valorile curenților capacitivi din rețea (fig. 3.43).

În cazul punerii nete la pămînt (faza T), potențialul fazei defecte va atinge potențialul pămîntului, tensiunile față de pămînt ale fazelor sănătoase U_{R0} și U_{S0} ajung la valoarea tensiunii de linie, fapt ce determină

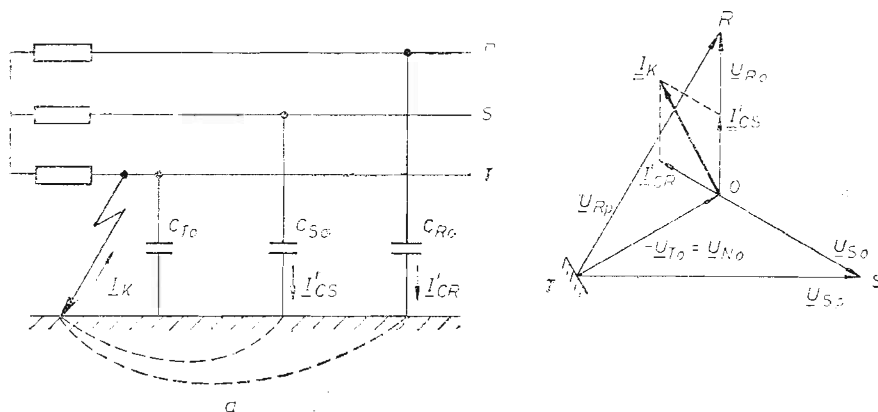


Fig. 3.43. Punerea monofazată la pămînt a fazei T:
a — schema de calcul; b — diagrama fazorială.

creşterea curenţilor capacitivi aferenţi, $I'_{CS} = \sqrt{3} \cdot I_{CS}$; neutrul va primi o tensiune faţă de pămînt egală în modul cu U_{T0}, dar rotită faţă de ea cu 180° ($\underline{U}_{N0} = - \underline{U}_{T0}$):

$$I_K = -j \cdot \omega(C_{R0} + C_{S0} + C_{T0}) \cdot U_{N0} = -j \cdot \omega \cdot 3 \cdot C_0 \cdot U_{N0}. \qquad (3.171)$$

$$(C_{R0} = C_{S0} = C_{T0} = C_0)$$
$$U_{PR} = U_{PS} = \sqrt{3} \cdot U_f, \qquad (3.172)$$

$$I_{CR} = I_{CS} = \sqrt{3} \cdot I_C. \qquad (3.173)$$
$$I_{CT} = 0.$$

(Curentul capacitiv al fazei T este egal cu zero, deoarece capacitatea respectivă este scurtcircuitată).

Prin locul de defect K, va circula curentul de defect cu caracter capacitiv şi care este egal cu

$$\underline{I}_K = \underline{I}_{CR} + \underline{I}_{CS}. \qquad (3.174)$$

Valoarea eficace a acestui curent capacitiv rezultant este:

$$I_K = \sqrt{3} \cdot I_{CR} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{3} \cdot I_C = 3 \cdot I_C \qquad (3.175)$$

Înlocuind în (3.175) pe (3.169) rezultă:

$$\underline{I}_K = 3 \cdot \omega \cdot C \cdot U_f, \qquad (3.176)$$

sau

$$I_K = \sqrt{3} \cdot \omega C \cdot U. \qquad (3.177)$$

Din relaţia (3.176) rezultă că, în caz de punere monofazată la pămînt într-o reţea cu neutrul izolat, curentul capacitiv de punere monofazată la pămînt este de trei ori mai mare decît curentul capacitiv normal al fazei considerate; mărimea acestui curent depinde numai de capacitatea fazei faţă de pămînt, tensiunea şi frecvenţa reţelei.

Se precizează faptul că, în cazul punerii la pămînt a unei faze, dintr-o rețea cu neutrul izolat, funcționarea receptoarelor de energie electrică nu va fi întreruptă, deoarece tensiunile între faze rămîn constante ca valoare. Faptul că tensiunea față de pămînt a fazelor sănătoase se mărește de $\sqrt{3}$ ori, nu prezintă un pericol imediat pentru izolație, întrucît izolația față de pămînt a fazelor este calculată la tensiunea între faze ; totuși pentru a evita funcționarea de durată a rețelelor de cabluri cu neutrul izolat în regim de punere la pămînt — fapt care ar putea avea consecințe grave asupra duratei de serviciu, precum și posibilitatea dezvoltării defectului în scurtcircuite polifazate — este necesar să se prevadă instalații speciale de control și avertizarea asupra stării izolației.

Cablurile la care se depistează puneri la pămînt trebuie deconectate în cel mai scurt timp posibil în vederea lucrărilor de reparații.

În concluzie, rezultă :

— rețelele trifazate cu neutrul izolat se folosesc la tensiuni medii : 6, 10, 20, 35 kV ;

— printre *dezavantajele* acestor rețele se enumeră :

— costuri legate de ridicarea nivelului de izolație al fazelor (care pot fi solicitate la $\sqrt{3}U$ în majoritatea defectelor de izolație) ;

— posibilitatea apariției unor supratensiuni prelungite, avînd valori pînă la 3,5 U în condiții speciale (autoexcitarea generatoarelor, conținut mărit de armonici în rețea etc.) ;

— funcționarea neselectivă a protecției în anumite cazuri de puneri duble la pămînt sau defecte polifazate ;

— influențe importante asupra liniilor de telecomunicații și valori ridicate pentru tensiunile de atingere și de pas în apropierea locului de defect, în special în situațiile în care defectul este evolutiv.

Tabelul 3.62

Valorile curenților capacitivi admiși în rețelele de M.T.

Tensiunea rețelei	$I_{c\ admis}$ [A]
35 kV	10
10–15 kV	10
6 kV	10
6–20 kV*	5

* pentru rețelele la care se racordează generatoare.

În cazul în care valoarea curenților capacitivi depășește anumite valori (tab. 3.62) — situație adesea întîlnită în rețelele extinse de cabluri este necesară adoptarea unui sistem de tratarea neutrului.

3.10.4. REȚELE CU NEUTRUL LEGAT DIRECT LA PĂMÎNT

În funcție de condițiile de funcționare ale rețelei (tab. 3.61) în această categorie se disting :

— rețele cu neutrul legat rigid la pămînt ;

— rețele cu neutrul legat efectiv la pămînt;

La aceste rețele, se înregistrează valori ridicate pentru curentul de defect, care la o punere monofazată la pămînt reprezintă de fapt curentul de scurtcircuit monofazat; tensiunea pe fazele sănătoase poate ajunge pînă la 70–80% din tensiunea nominală.

Avantajele utilizării unor astfel de rețele sînt:

— eliminarea rapidă a scurtcircuitelor prin arc;

— se reduce solicitarea izolației în regimuri nesimetrice, ceea ce permite utilizarea transformatoarelor cu izolație degresivă;

— funcționarea selectivă și sigură a instalațiilor de protecție;

— exploatare simplă.

Printre dezavantaje se amintesc:

— întreruperea bruscă a alimentării cu energie electrică a consumatorilor la fiecare punere la pămînt sesizată de instalațiile de protecție;

— solicitări dinamice și termice importante ale echipamentului și căilor de curent și ieșirea din sincronism a motoarelor în caz de scurtcircuit monofazat;

— tensiuni ridicate de atingere și de pas în zonele de defect, fapt care necesită măsuri speciale de protecția muncii;

— influențe maxime asupra liniilor de telecomunicații.

O reducere oarecare a curenților de scurtcircuit monofazat se obține prin realizarea unei rețele cu neutrul legat efectiv la pămînt, la care coeficientul de legare la pămînt în acel loc nu depășește 80%, tabelul 3.61 [44].

La aceste rețele are loc limitarea atît a curenților de scurtcircuit monofazat cît și a tensiunilor pe neutrele transformatoarelor.

În vederea evitării supratensiunilor pe neutrele transformatoarelor, izolate în regim normal, la deconectarea întreruptorului pe partea de înaltă tensiune este prevăzut pe nul un separator rapid, care este închis automat înainte de deschiderea întreruptorului.

3.10.5. REȚELE CU NEUTRUL TRATAT PRIN REZISTENȚĂ SAU REACTANȚĂ

Introducerea unei rezistențe în neutrul rețelelor conduce la limitarea curenților de scurtcircuit monofazat și la automatizarea rapidă a oscilațiilor libere care pot apare în timpul proceselor tranzitorii care însoțesc scurtcircuitele cu arc; gradul de limitare depinde de:

— stabilirea termică a rezistenței de limitare;

— căderea de tensiune în rezistență în caz de defect;

— coordonarea izolației și a mijloacelor de protecție a supratensiunilor, în funcție de tensiunea obținută pe fazele sănătoase, în caz de defect monofazat.

Deoarece construcția rezistenței de limitare și a prizei de pămînt ridică probleme constructive, se recomandă utilizarea acestora numai în anumite cazuri, ca de exemplu la generatoarele electrice și rețelele de distribuție la tensiunea acestora [44].

3.10.6. REȚELE CU NEUTRUL TRATAT PRIN BOBINĂ DE STINGERE

Metoda se utilizează la rețele aeriene de medie tensiune cu neutrul izolat la care curenții capacitivi depășesc valorile admise; în rețelele de cabluri este necesară compararea acestei soluții cu alte moduri de tratare și, în funcție de condițiile specifice, să se adopte soluția cu avantaje maxime tehnico-economice.

Utilizarea bobinelor de stingere duce la stingerea rapidă a arcului de punere la pămînt, la evitarea supratensiunilor interne și dă posibilitatea funcționării rețelei cu o fază pusă la pămînt un timp de 2—6 ore, în funcție de prescripțiile specifice fiecărei țări.

În principiu, o bobină de stingere compensează curenții capacitivi după schema din figura 3.44. În regim normal rețeaua se comportă ca o rețea cu neutrul izolat, curenții capacitivi pe cele trei faze se compensează între ei, iar prin bobină nu circulă nici un curent; în cazul unei puneri monofazate la pămînt, neutrul rețelei avînd tensiunea față de pămînt egală cu tensiunea de fază, prin bobină va trece un curent inductiv în opoziție de fază cu curentul capacitiv (fig. 3.44, *b*). Prin locul de defect va trece doar curentul rezidual (remanent), care reprezintă diferența între curentul capacitiv și cel inductiv

$$\underline{I}_r = \underline{I}_C + \underline{I}_B; \\ = \mathrm{j}U_{N0}\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right), \tag{3.178}$$

în care $C = C_{R0} + C_{S0} + C_{T0} = 3\,C_{R0}$ este capacitatea totală față de pămînt a rețelei (capacitatea homopolară — v. subcap. 3.6.3).

Dacă reactanța bobinei este egală cu reactanța capacitivă a rețelei, teoretic, curentul rezidual este nul și rețeaua este total compensată; în acest caz:

$$\omega C = \frac{1}{\omega L}. \tag{3.179}$$

Din relația (3.179) rezultă valoarea inductivității necesară bobinei pentru a avea o compensare totală.

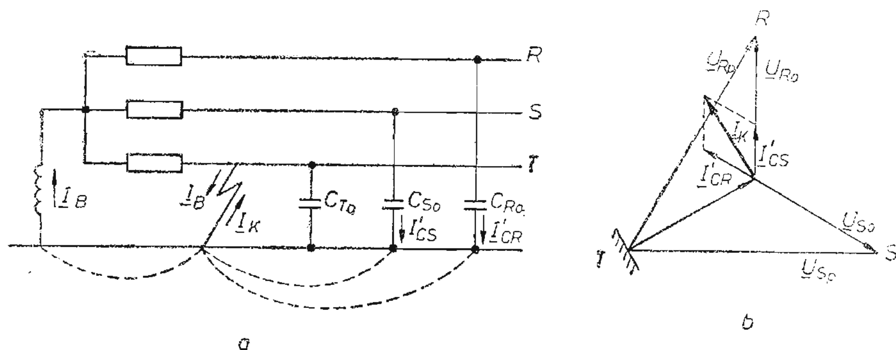


Fig. 3.44. Compensarea curenților capacitivi într-o rețea cu neutrul tratat prin bobină de stingere:

a — schema de calcul; *b* — diagrama fazorială.

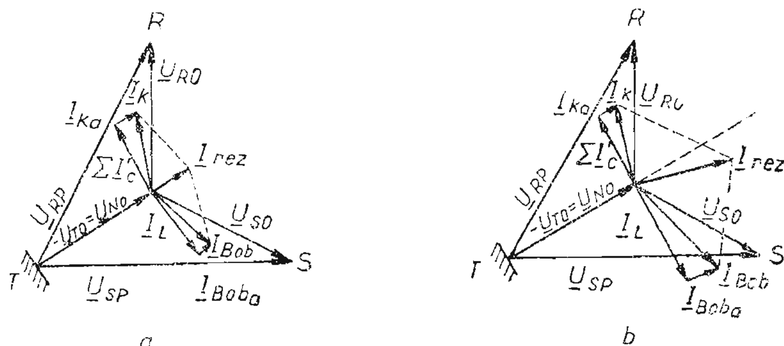


Fig. 3.45. Diagrama fazorială a curenților și tensiunilor în cazul punerii la pămînt, pentru rețea necompensată:

a — componentele reactive egale; *b* — componentele reactive inegale.

Pentru cazurile în care cele două reactanțe diferă, se introduc noțiunile de

— grad de compensare, K (sau de acord):

$$K = \frac{1}{\omega L \cdot \omega C} \cdot 100, \ [\%] \tag{3.180}$$

și grad de dezacord, δ:

$$\delta = 1 - K. \tag{3.181}$$

Operația de reducere a curentului rezidual se numește acordarea bobinei sau compensarea curentului capacitiv.

Practic, rețeaua nu poate fi total compensată, din cauza rezistențelor și conductanțelor circuitelor. Atît curentul de defect cît și curentul care trece prin bobină vor avea o componentă activă care va genera un curent rezidual atît în cazul în care componentele reactive sînt egale (fig. 3.45, *a*) cît și în cazul cînd ele diferă (fig. 3.45, *b*) caz în care curentul rezidual crește.

Se menționează că în practică nu se realizează niciodată acordul perfect al bobinei de stingere, ci se lucrează cu o bobină dezacordată; se procedează la o supracompensare a capacităților rețelei, admițîndu-se un dezacord de 10% față de condițiile de rezonanță, astfel încît să se evite circulația la locul de defect a unui curent capacitiv.

Bobina dezacordată favorizează stingerea arcului de punere la pămînt nu numai datorită limitării de curent, dar și datorită limitării tensiunii de revenire la bornele canalului de arc; necesitatea unui dezacord al bobinei rezultă și din pericolul de apariție a unor supratensiuni în regimul cu bobina acordată datorită faptului că niciodată capacitățile fazelor nu sînt perfect egale.

În figura 3.46, se prezintă schema de montare a unei bobine de stingere într-o rețea de M.T., care dispune de un transformator cu neutrul accesibil; în cazul cînd acesta nu există se recurge la crearea unui punct neutru artificial.

1. *Efectele tratării neutrului cu bobine de stingere*

Utilizarea bobinelor de stingere la tratarea neutrului prezintă următoarele avantaje:

— funcționarea neîntreruptă a rețelei datorită stingerii arcului intermitent la locul de defect (cca 70% din defectele pasagere nu sînt sesizate decît de aparatele înregistratoare);

Fig. 3.46. Schema de montaj a bobinei de stingere:
T — transformator trifazat; TT — transformator de tensiune; T_c — transformator de curent; C — contor de punere la pămînt; L — bobină de stingere; A — ampermetru înregistrator; RC — releu de curent; RI — releu intermediar.

— reducerea intensității curentului de defect și prin aceasta se elimină și dezavantajele celorlalte moduri de tratare (tensiuni de pas și de contact periculoase, prize de pămînt larg dimensionate etc.);
— realizarea unei izolații economice și a unei protecții eficace prin descărcătoare;
— reducerea numărului scurtcircuitelor bi- și trifazate;
— îmbunătățirea regimurilor tranzitorii, în sensul scurtării duratei acestora.

Printre dezavantajele sistemului se citează:
— necesită nivel de izolație mai ridicat în instalații — analog rețelelor cu neutrul izolat;
— exploatarea mai dificilă în cazul bobinelor fără reglaj automat;
— dificultatea identificării locului avariei;
— complicarea instalațiilor de protecție;
— cheltuieli materiale legate de instalarea și exploatarea bobinelor.

În funcție de modul de variație al inductivității, se deosebesc următoarele tipuri de bobine de stingere:
— cu ploturi reglabile (bobine Petersen cu reglaj în trepte);
— cu miezuri reglabile (reglaj continuu);
— cu premagnetizare în curent continuu.

Variantele de execuție în țara noastră a bobinelor de stingere sînt prezentate în subcapitolul 3.5.

2. *Calculul și alegerea bobinelor de stingere*

Condițiile pe care trebuie să le îndeplinească bobinele de stingere sînt următoarele:
— să compenseze curenții capacitivi de punere la pămînt, ce s-ar produce în cazul unei puneri la pămînt a aceleiași rețele, funcționînd cu neutrul izolat; prima etapă de calcul va fi constituită deci de determinarea mărimii curenților de capacitivi de punere la pămînt;
— să producă o supracompensare de $15 \div 25\%$, cu avantajele prezentate anterior.

Numărul de bobine, puterea și locul lor de instalare se determină ținînd cont de secționările probabile ale rețelei, prin manevre sau în urma unor avarii, în porțiuni nelegate galvanic între ele; în același timp bobinele de stingere instalate pentru deservirea unei anumite porțiuni de rețea

trebuie să fie prevăzute cu prizele care asigură compensarea cît mai perfectă în toate regimurile posibile.

Determinarea mărimii curenţilor capacitivi se realizează prin trei metode:

— măsurarea directă;

— calculul cu ajutorul unor relaţii empirice;

— calculul coeficienţilor de capacitate din ecuaţiile lui Maxwell [5]; această metodă este utilizată la LEA şi conduce la valori destul de apropiate de cele obţinute prin măsurarea directă.

În cazul reţelelor de cabluri, în funcţie de tipul cablului şi secţiunea acestuia se dă curentul capacitiv (de încărcare) al cablului, în A/km.

Curentul total I_p de punere la pămînt este:

$$I_p = \omega C_h \cdot \frac{U}{\sqrt{3}}. \qquad (3.182)$$

Admiţînd dezacordul δ al bobinei rezultă curentul nominal al acesteia

$$I_{nB} = \left(1 + \frac{\delta}{100}\right) I_p. \qquad (3.183)$$

Puterea nominală a bobinei este

$$S_{nB} = \frac{U_n}{\sqrt{3}} \cdot I_{nB}. \qquad (3.184)$$

3. *Montarea bobinelor de stingere*

În majoritatea cazurilor, bobinele de stingere se instalează în staţiile de transformare, conectîndu-se la neutrul transformatoarelor prin intermediul separatoarelor. În cazul în care neutrul nu este accesibil se creează un nul artificial printr-un transformator auxiliar, care se conectează prin întreruptor la bare. Puterea transformatorului auxiliar se alege în concordanţă cu puterea bobinei

$$S_T = K_T \cdot S_{nB}, \qquad (3.185)$$

unde $K_T = 1{,}1$ este un coeficient de siguranţă.

În paralel cu bobina de stingere se recomandă instalarea unui descărcător cu rezistenţa variabilă, a cărui tensiune nominală să fie egală cu cea a reţelei; montarea descărcătoarelor este necesară pentru protecţia înfăşurărilor transformatorului la al cărui neutru se conectează bobina de stingere.

3.11. CRITERII ECONOMICE DE COMPARARE A VARIANTELOR DE ALIMENTARE

Metoda generală de comparare a variantelor de alimentare constă în determinarea eficienţei economice a soluţiilor alese, în vederea reducerii cheltuielilor anuale de producţie.

În practica curentă există mai multe metode, dintre care se amintesc cele mai uzuale: *metoda comparării variantelor* — metodă foarte laborioasă,

care constă în selectarea variantelor pe baza ordonării acestora după valorile crescătoare ale investițiilor și descrescătoare ale cheltuielilor anuale; *metoda cheltuielilor de anuale de calcul* — utilizată pentru aprecierea variantelor propuse, care pot sau nu să asigure aceleași condiții tehnice în condițiile unor investiții diferite; *metoda cheltuielilor totale minime actualizate* — folosită în mod curent în practica proiectării și care va fi descrisă în continuare.

Metoda cheltuielilor totale minime actualizate

Principiul metodei constă în evaluarea economică printr-o însumare, pe toată durata de exploatare, a tuturor investițiilor și cheltuielilor de exploatare aferente unei anumite soluții actualizate la primul an al perioadei de studiu. În calculul tehnico-economic se ține seama de: investițiile totale, cheltuielile totale anuale de exploatare, valoarea reziduală a instalațiilor și valoarea daunelor probabile. Cu ajutorul acestor elemente enumerate mai sus se calculează *indicatorul de eficiență economică a investițiilor* (cheltuielile totale actualizate).

Expresia costului total actualizat al soluției j în anul N este [41]:

$$A_{jN} = \sum_{i=1}^{N} I_{ji}(1 + a)^{-i} + \sum_{i=1}^{N} C_{ji}(1 + a)^{-i} - \\ - \sum_{i=1}^{N} V_{\tau ji}(1 + a^{-i} + \sum_{i=1}^{N} D_{ji}(1 + a)^{-i}, \tag{3.186}$$

în care: I_{ji} este volumul de investiții necesar în anul i pentru soluția j;
C_{ji} — cheltuielile anuale de exploatare în anul i pentru soluția j;
$V_{\tau ji}$ — valorile reziduale în anul i ale soluției j;
D_{ji} — valoarea daunelor probabile în anul i a soluției j;
N — numărul de ani ai perioadei de studiu;
a — rata de actualizare (10%);
i — anul curent.

Valoarea reziduală și cheltuielile de exploatare fixe reprezintă o cotă fixă, C respectiv b din valoarea investiției.

În acest caz, relația (3.202) devine:

$$A_{ji} = \sum_{i=1}^{l} \frac{I_{ji}}{(1 + a)^i} + \sum_{i=1}^{l} \frac{\sum_{k=1}^{i} bI_{jk}}{(1 + a)^i} + \sum_{i=1} \frac{p\Delta E_{ji}^{i}}{(1 + a)^i} - \\ - \sum_{i=1}^{l} \frac{C_i \cdot I_{ji}}{(1 + a)^i} + \sum_{i=1}^{l} \frac{D_{ji}}{(1 + a)^i}, \tag{3.187}$$

în care: $l = 1, 2, \ldots, N$;
E_{ji} reprezintă pierderile de energie în anul i;
p — costul pierderilor de energie, în lei/kWh;
b — coeficientul de calcul al cheltuielilor anuale de exploatare;
C_i — coeficientul de calcul al valorii reziduale.

Relația (3.187) caracterizează soluțiile luate în considerare inițial — soluțiile fundamentale. Se alege acea variantă pentru care indicatorul de eficiență economică a investițiilor A_{jN} este mai mic.

În relația (3.187) apare termenul D_{ji} — valoarea daunelor probabile în anul i a soluției j, care ia în considerare una din cerințele de bază în alimentarea cu energie electrică — continuitatea în alimentare.

Perioadele de nealimentare înseamnă producție nerealizată și în unele cazuri, funcție de specificul întreprinderii, deteriorări de materie primă și chiar a unora dintre utilajele tehnologice importante. În urma calculului indicatorului de siguranță al schemei de alimentare se determină și duratele medii probabile ale întreprinderilor anuale, precum și numărul lor. Prin aceasta, există posibilitatea de a calcula pierderile, respectiv daunele, care apar în cazul întreprinderilor industriale în perioadele de întrerupere în alimentarea cu energie electrică din sistemul energetic într-un an. În funcție de tipul întreprinderilor industriale, problema daunelor are multe aspecte specifice, dintre care cele principale se referă la daune care depind numai de numărul întreruperilor (cele legate de distrugeri de utilaje și de deteriorarea materiei prime) și daune care depind de duratele întreruperilor și care privesc pierderile de producție.

În calculul daunelor, partea cea mai mare a volumului de informații necesare trebuie să se obțină din partea proiectantului tehnolog; astfel o primă informație se referă la producția fizică totală a întreprinderii, exprimată în unități fizice (bucăți/an, tone/an etc.), corespunzătoare unei anumite durate de timp, în general un an; cota parte din producția totală denumită nerecuperabilă, care nefiind realizată în perioada cînd lipsește energia electrică, nu mai poate fi recuperată după ce se reia alimentarea; cealaltă parte o constituie producția denumită recuperabilă, care nefiind realizată pe perioada întreruperii, poate fi recuperată după reluarea alimentării; costul producției totale, precum și separarea acestuia pentru cele două părți-nerecuperabilă și recuperabilă.

O importanță deosebită pentru stabilirea daunelor o are faptul dacă întreprinderea are sau nu sursă proprie, precum și puterea disponibilă a acesteia, ținînd seama de revizii, reparații sau de reducerea puterii debitate datorită unor restricții impuse de fluxul tehnologic al întreprinderii. De asemenea, este necesar să se cunoască, fie pierderea totală de producție, fie reducerea producției datorită blocării instalațiilor, precum și costul acestor pierderi totale sau parțiale; cheltuielile suplimentare pe care le suportă întreprinderea (salarii, consum sporit de energie electrică etc.) pentru recuperarea ulterioară a producției sporite etc.

În lucrarea [41] sînt analizate pe larg daunele produse ca urmare a întreruperii în alimentarea cu energie electrică, precum și modul de calcul efectiv al acestora.

Capitolul 4
INSTALAȚII ELECTRICE DE JOASĂ TENSIUNE

4.1. GENERALITĂȚI

Instalațiile electrice de joasă tensiune realizează distribuția energiei electrice la receptoare îndeplinind astfel scopul final al întregului proces de producere, transport și distribuție a energiei electrice. În compunerea lor se regăsesc aceleași părți, evidențiate pentru instalațiile electrice la consumatori (v. subcap. 1.2.).

Receptoarele electrice alimentate în joasă tensiune sînt de o mare diversitate, ocupînd în general o pondere însemnată în valoarea puterii instalate la consumator. Avînd în vedere rolul instalațiilor de joasă tensiune, rezultă că proiectarea acestora este strîns legată de caracteristicile tehnico-funcționale ale receptoarelor electrice (v. subcap. 1.4). Cerințele impuse de funcționarea corespunzătoare a receptoarelor, din punct de vedere tehnic și economic, trebuie satisfăcute între anumite limite admisibile, de către instalația de distribuție în joasă tensiune.

Așa cum s-a subliniat (v. subcap. 1.1), un mare număr de receptoare electrice se află, în mod obișnuit, montate în cadrul utilajelor tehnologice, acestea cuprinzînd unul sau mai multe receptoare. Prin fabricație, aceste utilaje au o instalație electrică proprie, care cuprinde atît o parte de *forță* — circuitele primare, cu rol de distribuție și de protecție a receptoarelor, cît și o parte de *comandă, automatizare, măsură* și *control* — circuitele secundare. În figura 4.1 sînt prezentate schemele de alimentare aferente circuitelor primare a două tipuri de utilaje. Instalația electrică a unui utilaj conține, așa cum se vede și în figura 4.1, un tablou de distribuție, numit pe scurt tablou de utilaj *TU* (v. subcap 1.2), care alimentează receptoarele cu energie electrică de la un punct de distribuție (bornele de intrare), permite conectarea-deconectarea și realizează protecția receptoarelor și a conductelor electrice.

Rețelele electrice de joasă tensiune sînt constituite din totalitatea coloanelor și circuitelor de utilaj sau receptor. Prin *coloană* se denumește ansamblul elementelor conductoare de curent, care alimentează un tablou de distribuție, iar prin *circuit* ansamblul elementelor conductoare de curent, care alimentează unul (circuit de receptor) sau mai multe receptoare (circuit de utilaj).

În cadrul rețelelor electrice de joasă tensiune se pot face următoarele grupări:

— rețele de *alimentare*, care leagă barele de joasă tensiune ale posturilor de transformare la punctele de distribuție (tablouri), cuprinzînd totalitatea coloanelor electrice;

— rețele de *distribuție*, care fac legătura între punctele de distribuție și receptoare sau utilaje, incluzînd totalitatea circuitelor de receptor, respectiv utilaj.

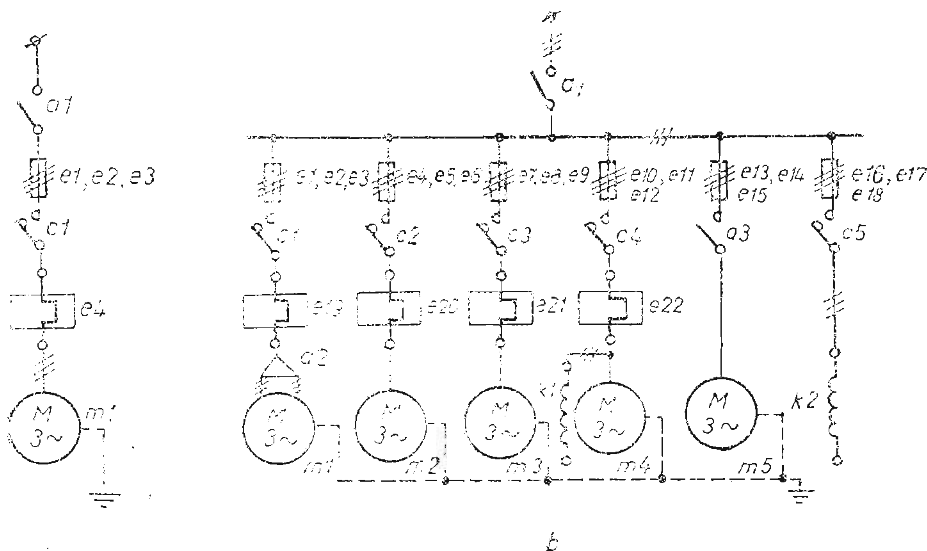


Fig. 4.1. Scheme de alimentare pentru utilaje:
a — cu un singur receptor (șeping 425 B); *b* — cu mai multe receptoare (mașină de sablaj).

Punctele de alimentare sînt reprezentate, în cazul instalațiilor electrice de joasă tensiune, de tablourile de distribuție care pot fi [32]:

— tablouri *generale*, primind energia electrică de la postul de transformare sau direct din rețeaua furnizorului;

— tablouri *principale*, alimentate dintr-un tablou general și care distribuie energia electrică la tablouri secundare;

— tablouri *secundare*, de la care energia electrică se distribuie la receptoare și utilaje.

Instalațiilor electrice de joasă tensiune le este specific și un anumit echipament electric, prezentat în subcapitolul 4.5. De obicei echipamentul electric se montează concentrat, în vecinătatea punctelor de alimentare (în TD) putînd fi însă amplasat și pe traseul unor coloane (cazul magistralelor din bare capsulate) sau al unor circuite (aparatele de conectare).

4.2. SCHEMELE REȚELELOR DE DISTRIBUȚIE

Racordarea receptoarelor și utilajelor la tablourile de distribuție se poate face:

— radial;

— cu linie principală.

În figura 4.2, este prezentată o rețea de distribuție radială cu șase circuite, două de receptor pentru motoarele *m1* și *m2* și patru de utilaj — pentru utilajele *u1*, ..., *u4*. Configurația radială este cea mai frecvent utilizată pentru rețelele de distribuție de joasă tensiune.

Pentru alimentarea receptoarelor și utilajelor electrice de mică importanță, situate departe de punctele de distribuție însă amplasate apropiat

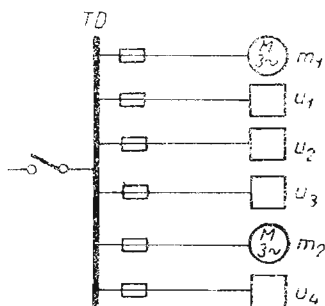


Fig. 4.2. Schema de alimentare radială aferentă tabloului *TD*: m_1, m_2 — receptoare; $u_1, \ldots, u_4$ — utilaje.

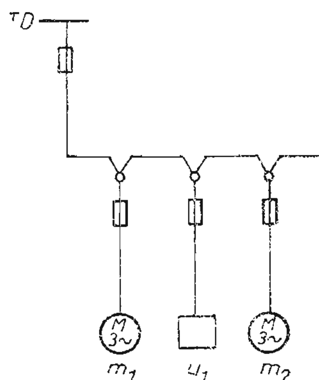


Fig. 4.3. Schema unui tablou cu linie principală (conexiune în lanț).

între ele, se poate folosi distribuția cu linie principală, numită în acest caz și conexiune în lanț, prezentată în figura 4.3. Evident și în astfel de situații se poate recurge la amplasarea unui tablou de distribuție în vecinătatea grupului de receptoare și utilaje, la care acestea să fie racordate radial.

Extinderea distribuției cu linie principală, adică racordarea de noi receptoare sau utilaje se poate face cu ușurință dacă secțiunea conductoarelor din compunerea liniei asigură și curenții ceruți de noile receptoare.

Conexiunea cu linie principală este mai frecvent utilizată la realizarea distribuției în interiorul utilajelor, deci în schemele de distribuție ale acestora.

Gruparea receptoarelor și utilajelor pe tablouri de distribuție secundare trebuie să se facă în baza următoarelor considerente:

— existența unor corelații funcționale în cadrul procesului tehnologic deservit;

— amplasarea învecinată în cadrul secției;

— utilizarea eficientă a tipurilor de cutii capsulate pentru tablouri de distribuție și a altor echipamente electrice;

— tarifarea identică pentru consumul de energie electrică;

— lipsa perturbațiilor reciproce supărătoare între diferitele tipuri de receptoare;

— eventualitatea unor limitări de putere de 5 ... 10% la cererea furnizorului, în caz de deficit de putere în sistemul electroenergetic;

— receptoarele de categorii diferite se grupează pe diferite tablouri.

În condițiile de mai sus, se recomandă [32] ca receptoarele de iluminat să fie racordate la aceleași tablouri de distribuție cu receptoarele de forță.

Nu se vor grupa pe același tablou receptoare de diferite tipuri dacă:

— separarea conduce la soluții mai economice;

— se aplică tarifare diferențiată pentru consumul de energie electrică;

— funcționarea unora produce perturbații supărătoare pentru celelalte (de exemplu pornirea motoarelor electrice, care determină variații ale fluxului luminos emis de sursele de lumină);

— utilajele sau agregatele tehnologice se pot înlocui reciproc din punct de vedere productiv sau acestea deservesc linii tehnologice paralele, realizînd acelaşi produs;

— frecvenţele de lucru sînt diferite;

— tensiunile fază-pămînt sînt diferite.

Ultimele două condiţii nu sînt obligatorii [32] dacă un receptor sau utilaj necesită pentru funcţionarea lui circuite cu curenţi de frecvenţe sau tensiuni diferite. În asemenea situaţii, în cadrul tabloului de distribuţie respectiv, echipamentele care aparţin aceluiaşi fel de curent sau nivel de tensiune se montează separat şi se marchează distinct.

Numărul de receptoare şi utilaje care pot fi racordate la acelaşi tablou de distribuţie este limitat de valoarea maximă a curentului care poate fi suportată de elementele conductoare ale echipamentului electric. Acest număr se corelează cu puterile instalate şi coeficienţii de cerere ai receptoarelor.

În concluzie, problema grupării utilajelor şi receptoarelor dintr-o secţie, pe tablouri de distribuţie, poate fi soluţionată dacă se cunosc amplasamentele utilajelor şi receptoarelor (schema tehnologică), caracteristicile tehnico-funcţionale ale acestora şi procesul tehnologic din secţie.

4.3. SCHEMELE REŢELELOR DE ALIMENTARE

Conceperea schemelor reţelelor de alimentare, care fac legătura între posturile de transformare şi tablourile de distribuţie la receptoare şi utilaje, reprezintă unul din aspectele importante ale proiectării instalaţiei de joasă tensiune deoarece, aşa cum s-a arătat mai sus, reţelele de distribuţie nu ridică dificultăţi deosebite.

Reţelele de alimentare de joasă tensiune pot fi organizate conform schemelor (de alimentare):

— radiale;

— cu linii principale;

— buclate;

— combinate.

Prezentarea particularităţilor acestor scheme fundamentale, utilizate la organizarea reţelelor de joasă tensiune, se face în continuare fără a se mai repeta avantajele şi dezavantajele expuse deja în cadrul subcapitolului 3.3.

a. *Schemele radiale* (arborescente) sînt utilizate pentru alimentarea unor tablouri de distribuţie suficient de încărcate, montate relativ apropiat unele de altele, cît şi în cazul tablourilor de distribuţie cu puteri cerute mari, distanţate, faţă de care tabloul general ocupă o poziţie aproximativ centrală.

Aceste scheme asigură totodată limitarea valorilor curenţilor de scurtcircuit [45].

Reţelele de alimentare radiale, se pot realiza conform schemelor prezentate în figura 4.4, după cum urmează:

— cu o singură treaptă, cînd tablourile secundare de distribuţie (*TS*1, ..., *TS*4) sînt alimentate direct de la tabloul general *TG* (fig. 4.4, *a*);

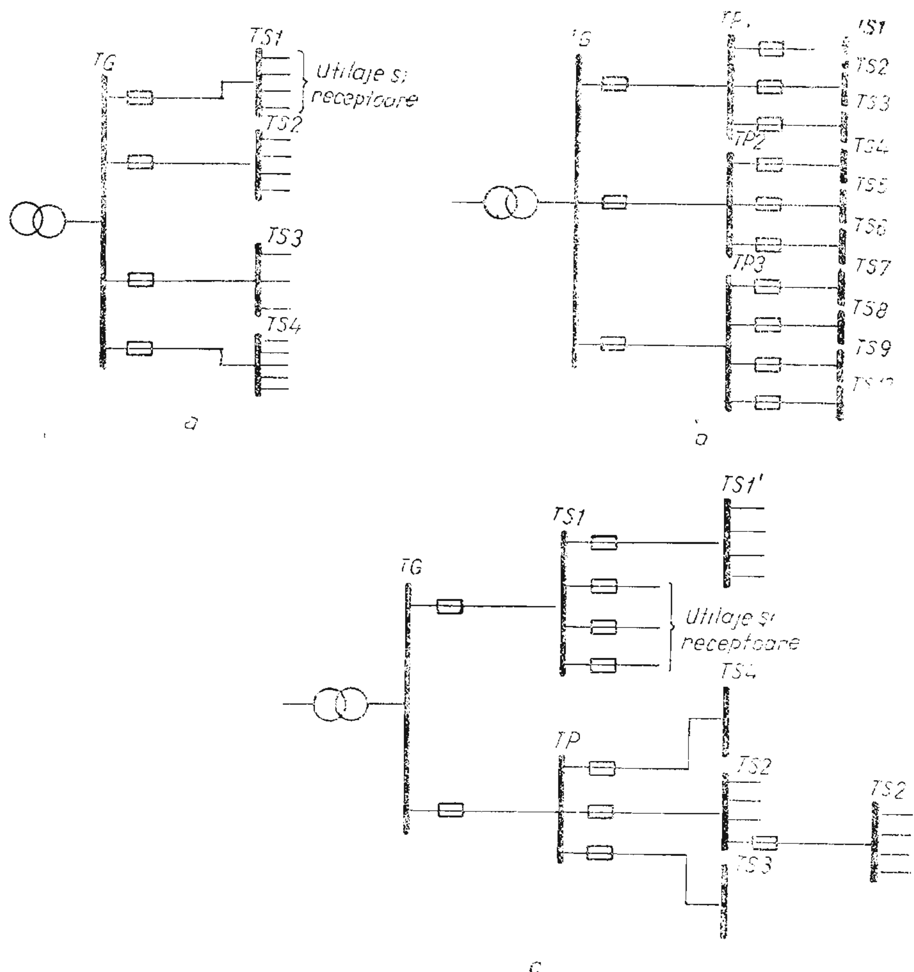


Fig. 4.4. Scheme ale reţelelor de alimentare radiale:
a — cu o singură treaptă; *b* — cu două trepte; *c* — în cascadă.

— cu mai multe trepte, caz în care distribuţia se realizează prin două sau mai multe puncte de distribuţie intermediare. Pentru distribuţia radială în două trepte, prezentată în figura 4.4, *b*, prima treaptă o constituie alimentarea tablourilor principale *TP*1, ..., *TP*3, iar a doua — alimentarea tablourilor secundare *TS*1, ..., *TS*10 de la cele principale. Coloanele se diferenţiază în mod corespunzător în coloane principale, respectiv secundare. În general, arareori se utilizează scheme radiale cu mai mult de două trepte;

— în cascadă (fig. 4.4, *c*), situaţie în care la anumite tablouri de distribuţie (*TS*1, *TS*2) se racordează alături de receptoare sau utilaje şi alte tablouri de distribuţie (*TS*1', respectiv *TS*2'), ca în cazul schemelor radiale cu mai multe trepte. Tablourile secundare se consideră de diferite nivele, în sensul distribuţiei energiei electrice spre receptoare, putîndu-se nota de exemplu *TS*3—1, *TS*3—2 ş.a.m.d., iar cele care alimentează numai

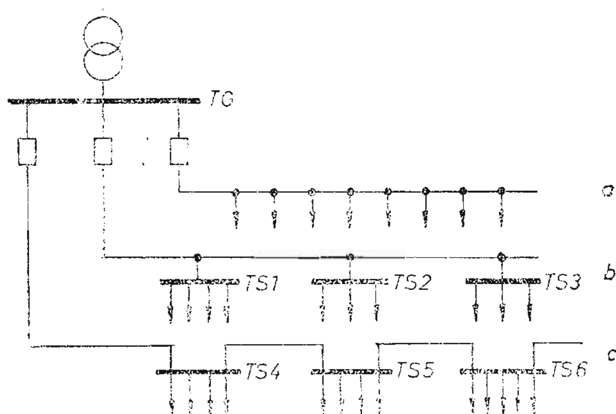


Fig. 4.5. Reţele de alimentare cu linii principale:

a — nesecţionată, cu sarcini distribuite; *b* — nesecţionată, cu sarcini concentrate; *c* — secţionată.

receptoare şi utilaje, conform principiului ilustrat în figura 4.4, *c*. De remarcat că schema în cascadă rezultă din suprapunerea unor scheme radiale cu numere diferite de trepte, combinaţia fiind datorată unor linii de distribuţie (coloane) comune. Se recomandă evitarea formării a mai mult de două trepte, din considerente de siguranţă în exploatare.

De subliniat, în continuarea caracteristicilor menţionate în subcapitolul 3.3, că reţelele de alimentare radiale se disting prin siguranţa în funcţionare din punct de vedere a selectivităţii. Ca un dezavantaj poate fi reţinut şi faptul că tablourile generale sînt, în cazul schemelor radiale, mai dezvoltate.

b. *Schemele cu linii principale* se folosesc pentru alimentarea unor tablouri de distribuţie amplasate pe o aceeaşi direcţie faţă de tabloul general, la distanţe relativ mici, iar mărimea încărcării acestor tablouri nu justifică folosirea schemei radiale.

Reţelele de alimentare cu linii principale, prezentate în figura 4.5, pot fi:

— cu linii principale nesecţionate, cu sarcini distribuite (fig. 4.5, *a*) sau concentrate (fig. 4.5, *b*);

— cu linii principale secţionate (fig. 4.5, *c*).

În cazul utilizării barelor capsulate ca element constructiv pentru liniile principale, reţeaua de alimentare poate avea una din configuraţiile prezentate în figura 4.6, denumite scheme bloc transformator — linie principală din bare capsulate.

Linia principală se mai numeşte coloană magistrală sau simplu — magistrală, iar liniile care se ramifică din acestea — derivaţii.

Schemele cu linii principale din bare capsulate sînt frecvent aplicate în alimentarea cu energie electrică a unor secţii cu sarcini electrice mari,

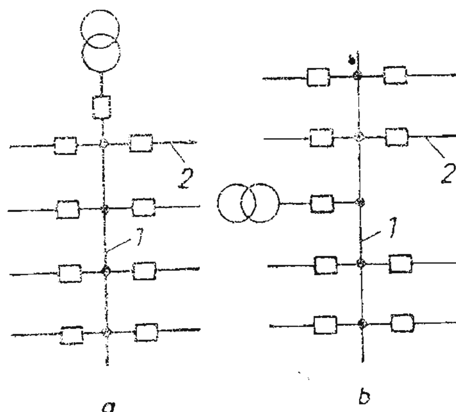


Fig. 4.6. Scheme bloc transformator — linie principală din bare capsulate:

a — plecarea liniei principale într-o singură direcţie; *b* — plecarea liniei principale în două direcţii: *1* — linia principală; *2* — derivaţii.

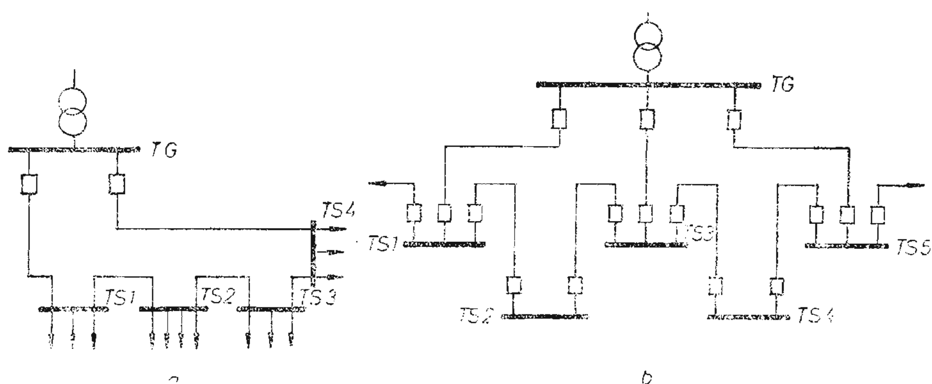


Fig. 4.7. Reţele de alimentare buclate:
a — în inel; *b* — tip plasă.

din uzine metalurgice, constructoare de maşini, de prelucrarea minereurilor etc.

c. *Schemele buclate* se obţin prin reîntoarcerea capătului liniei principale secţionate la punctul de alimentare de plecare. Aceste reţele asigură în punctele de distribuţie pe care le alimentează o rezervă în linii, putînd fi utilizate în cazul unor grupe de receptoare de categoria a *II*-a.

În figura 4.7 sînt prezentate două tipuri posibile de reţele de alimentare cu scheme buclate;

— în inel (simplu buclată), obţinută prin buclarea unei linii principale secţionate (fig. 4.7, *a*);

— tip plasă (complex buclată, fig. 4.7, *b*), care se compune din mai multe reţele simplu buclate. În aceste scheme, unele coloane sînt laturi

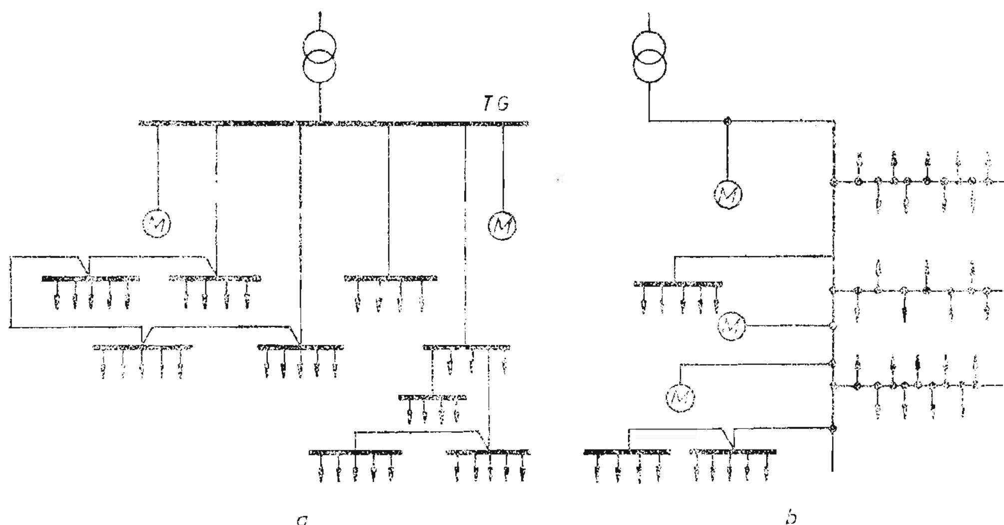


Fig. 4.8. Reţele de alimentare în scheme combinate:
a — cu linii radiale, principale şi buclate; *b* — cu linii principale pentru sarcini concentrate sau distribuite.

comune pentru două sau mai multe ochiuri, astfel încît rezerva în linii este de minimum 100%.

Siguranța în exploatare a rețelelor buclate de joasă tensiune depinde de modul de amplasare și dimensionare a elementelor de protecție.

d. *Schemele combinate*, cuprinzînd linii radiale, principale și buclate se utilizează în mod curent, dată fiind diversitatea condițiilor practice, în care trebuie realizată distribuția în joasă tensiune. În figura 4.8 sînt prezentate două exemplificări de rețele de alimentare combinate.

Dacă se folosesc puncte de distribuție intermediare, atunci alimentarea tablourilor principale se poate realiza după o schemă, iar a celor secundare după altă schemă ; în acest caz se obțin scheme combinate între trepte de distribuție.

Variantele tehnice ale schemelor rețelelor de joasă tensiune se analizează din punct de vedere al siguranței în funcționare, se compară între ele pe baza calculelor economice (v. subcap. 3.11) și pe această bază se alege soluția finală.

4.4. ASIGURAREA REZERVEI ÎN ALIMENTAREA RECEPTOARELOR

Exigențele privind calitatea energiei furnizate consumatorului, exprimate prin condițiile de calitate (v. subcap. 1.3) referitoare la continuitatea alimentării și la puterea necesară (clasa), determină (v. tab. 1.2) nivelul de siguranță în alimentare, care trebuie asigurat consumatorului respectiv.

Concret, nivelul de siguranță se realizează prin (v. par. 1.3, *c*) :

— rezerva în căi de alimentare, care în joasă tensiune este în esență o rezervă în linii și care se impune a fi prevăzută pentru receptoare din categoriile 0, I și II (nivelurile de siguranță 1 și 2) ;

— rezerva în surse independente, obligatorie în cazul receptoarelor din categoriile 0 și I (nivel de siguranță 1) și care presupune în mod implicit asigurarea și a rezervei în căi de alimentare.

Receptoarele unui consumator pot fi alimentate din următoarele categorii de surse :

— sursa de bază, care asigură alimentarea cu energie electrică a receptoarelor în regim normal de funcționare ;

— sursa de rezervă, de la care se realizează alimentarea receptoarelor în cazul indisponibilității sursei de bază, cu scopul de continuare a lucrului ;

— sursa de intervenție, care este o sursă de rezervă independentă de la care, la indisponibilitatea surselor de bază și de rezervă, se asigură alimentarea cu energie electrică a unui grup restrîns de receptoare, în scopul evitării unor fenomene periculoase la consumator [32].

Categoriile de receptoare determină diferențieri atît în ceea ce privește gradul de siguranță al căilor de alimentare, cît și în ceea ce privește tipul sursei de alimentare independente.

Astfel, în cazul receptoarelor din categoria 0, pe lîngă sursa de bază reprezentată de sistemul electroenergetic, trebuie să se prevadă instalarea unei surse de intervenție, care să asigure continuitatea în alimentare a receptoarelor respective.

Natura sursei și forma de energie utilizată se stabilesc în funcție de puterea cerută a receptoarelor din categoria 0, de durata critică de alimentare a acestora și de alte caracteristici ale procesului tehnologic. Conform [45], se pot lua în considerare următoarele tipuri de surse de intervenție :

— baterii de acumulatoare ;

— generatoare sincrone mici, antrenate de motoare cu ardere internă prin intermediul unor sisteme inerțiale ;

— grupuri Diesel ;

— centrale electrice de platformă ;

— acționarea cu turbine de abur sau gaze ș.a.

Numărul de căi de alimentare din sursa de bază a receptoarelor de categoria 0 se stabilește în funcție de condiții locale ca : structura rețelei, gruparea receptoarelor de diverse categorii și amplasarea surselor.

Punctele de racordare ale căilor de alimentare independente pot fi considerate ca surse de rezervă, dacă sînt îndeplinite condițiile referitoare la punctele de delimitare (v. subcap. 1.3).

Pentru receptoare de categoria I, nivelul de siguranță se realizează prin prevederea a două căi de alimentare racordate în puncte distincte din sistemul intern al consumatorului. Ca puncte distincte pot servi : bare distincte ale stației de racord adînc, ale postului de transformare sau ale stației aferente centralei electrice proprii.

Pentru receptoare de categoria a II-a se adoptă, de regulă, o singură cale de alimentare, a doua cale și modul de racordare al acesteia urmînd a fi justificate tehnico-economic în situații speciale.

Pentru receptoare de categoria a III-a se interzice prevederea a mai mult de o cale de alimentare.

Avînd în vedere că, în general, numărul și puterea receptoarelor foarte exigente sînt mici în raport cu numărul și puterea totală, este recomandabil ca alimentarea acestora să se facă de la tablouri de distribuție separate, independent de alte receptoare mai puțin importante.

Anclanșarea rezervei se poate realiza fie automat (AAR), pentru nivelul de rezervare *1*, fie manual — pentru nivelul de siguranță *2*, în fiecare caz urmînd a fi prevăzută aparatura de comutare corespunzătoare.

Pentru creşterea eficacității schemelor cu AAR, este necesară luarea de către consumatori a unor măsuri de desensibilizare a receptoarelor la golurile de tensiune care apar la funcționarea dispozitivelor respective [45].

Cînd furnizorul nu poate satisface consumul necesar, ceea ce ar determina scăderea tensiunii sau a frecvenței, se trece la sacrificarea alimentării receptoarelor mai puțin importante ale consumatorului. Aceasta se poate face fie manual, fie automat, operațiunea fiind numită în ultimul caz descărcarea automată a sarcinii (DAS).

Furnizorul de energie electrică dă indicații asupra modului cum trebuie organizată descărcarea automată a sarcinii pe tranșe de frecvență, în ordinea inversă a importanței pentru procesul tehnologic.

Necesitatea asigurării continuității în alimentare pentru receptoarele existente, pe de o parte, cît și eventualitatea sacrificării alimentării pentru receptoarele mai puțin importante, pe de altă parte, pledează în aceeași măsură pentru alimentarea grupurilor respective de receptoare de la tablouri de distribuție distincte. În acest caz, și problema asigurării rezervei se simplifică.

a) Rezerva în căi de alimentare de joasă tensiune trebuie rezolvată pentru cazurile distribuţiilor de bază radiale sau cu linii principale. Prin distribuţie de bază se înţelege aceea care asigură alimentarea receptoarelor în regim normal de funcţionare. Schema de alimentare a liniilor de rezervă poate fi de acelaşi tip cu a liniilor care realizează alimentarea de bază sau de tip diferit.

În figura 4.9 se prezintă principalele situaţii de asigurare a liniilor de rezervă :

— linii radiale duble (fig. 4.9, *a*), cînd atît distribuţia de bază, cît şi cea de rezervă se realizează radial ;

— linii principale duble (fig. 4.9, *b*), cînd distribuţia de bază cu linii principale este dublată printr-una de rezervă, tot cu linii principale ;

— linii radiale cu rezervă în linie principală (fig. 4.9, *c*) sau invers, linie principală cu rezervă în linii radiale ;

— linii principale cu buclare printr-o linie principală de rezervă comună (fig. 4.9, *d*).

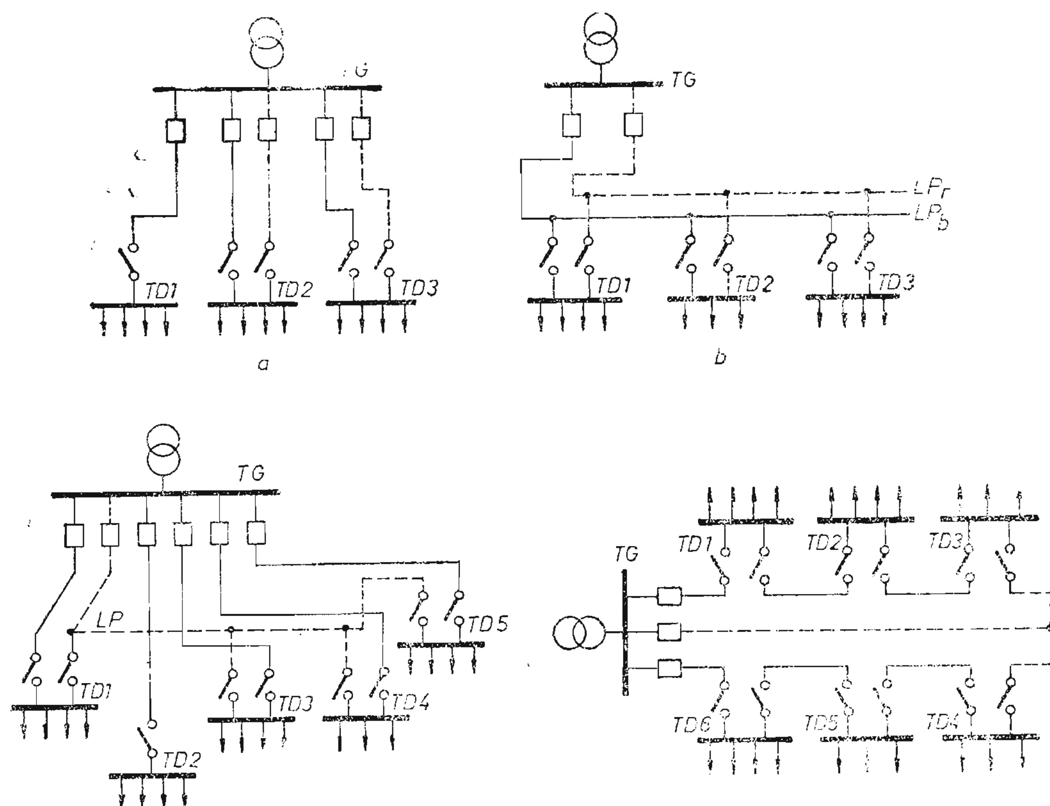


Fig. 4.9. Scheme de alimentare cu linii de rezervă (reprezentate întrerupt) :
a — linii radiale duble ; *b* — linii principale duble ; *c* — linii radiale cu rezervă în linie principală ; *d* — linii principale cu buclare printr-o linie principală de rezervă comună.

b) Rezerva în surse trebuie prevăzută pentru cazul indisponibilității sursei de bază, la consumatorii cărora le corespunde nivelul *1* de siguranță. Acest nivel impune ca, pe lîngă rezerva în căi de alimentare independente, să se asigure și o rezervă în surse, deoarece căile de alimentare trebuie să fie racordate în puncte distincte de delimitare.

În instalațiile de joasă tensiune ale consumatorilor industriali, nu există puncte de delimitare în accepțiunea considerată în subcapitolul 1.3. Cu rol similar pot fi considerate, în contextul asigurării rezervei în surse, punctele de distribuție care sînt noduri din amonte de consumatorii sau subconsumatorii de JT.

Tablourile de distribuție care alimentează receptoare de categoria O sau I trebuie racordate în puncte distincte de distribuție, astfel încît în caz de dispariție a tensiunii într-unul din puncte (sursa de bază), să poată fi asigurată continuitatea alimentării din celălalt punct (sursa de rezervă). Ca puncte de distribuție distincte pot fi considerate:

— barele de joasă tensiune din două posturi de transformare distincte;

— secțiunile diferite de bare ale unui singur post de transformare, prevăzut cu două unități (transformatoare de putere), dacă acestea sînt alimentate prin căi independente;

— sursele proprii de rezervă, adică grupuri electrogene sau centrale electrice la consumator.

În figura 4.10 se prezintă modalitățile de realizare a rezervei în surse pentru cazul schemelor de distribuție radiale. În ipoteza că un tablou de distribuție *TD*1 (fig. 4.10, *a*) necesită o sursă de rezervă și că la o distanță relativ mică se află un tablou de distribuție *TD*2 alimentat de la un alt post de transformare *PT*2, se asigură alimentarea de rezervă prin legătura dintre cele două tablouri de distribuție; în acest caz, alimentarea de la sursa de rezervă este realizată radial, în două trepte. Alimentarea de rezervă radială, într-o singură treaptă, este reprezentată în figura 4.10, *b*.

De la un post de transformare cu două unități și bare secționate, prevăzute cu întreruptor de cuplă, alimentarea de rezervă se realizează de pe secțiuni diferite de bare după schema radială într-o singură treaptă (direct de pe o secțiune de bare, fig. 4.10, *c*) sau după schema radială în două trepte (fig. 4.10, *d*).

Asigurarea surselor de rezervă pentru tablouri de distribuție alimentate prin linii principale este ilustrată în figura 4.11. Cazul cel mai simplu este cel al liniei principale alimentate la ambele capete (fig. 4.11, *a*); aceasta are dezavantajul că nu asigură și o rezervă în căi de alimentare. Dacă se utilizează două linii principale, fiecare plecînd din puncte de distribuție distincte (fig. 4.11, *b*), este asigurată atît rezerva în căi de alimentare, cît și în surse.

În cazul cînd într-o secție sînt mai multe posturi de transformare și rețeaua este executată după schema bloc transformator — linie principală (fig. 4.11, *c*), între barele liniilor principale, în locurile unde acestea se apropie, se pot executa punți de legătură (cuple) normal deschise. Acestea

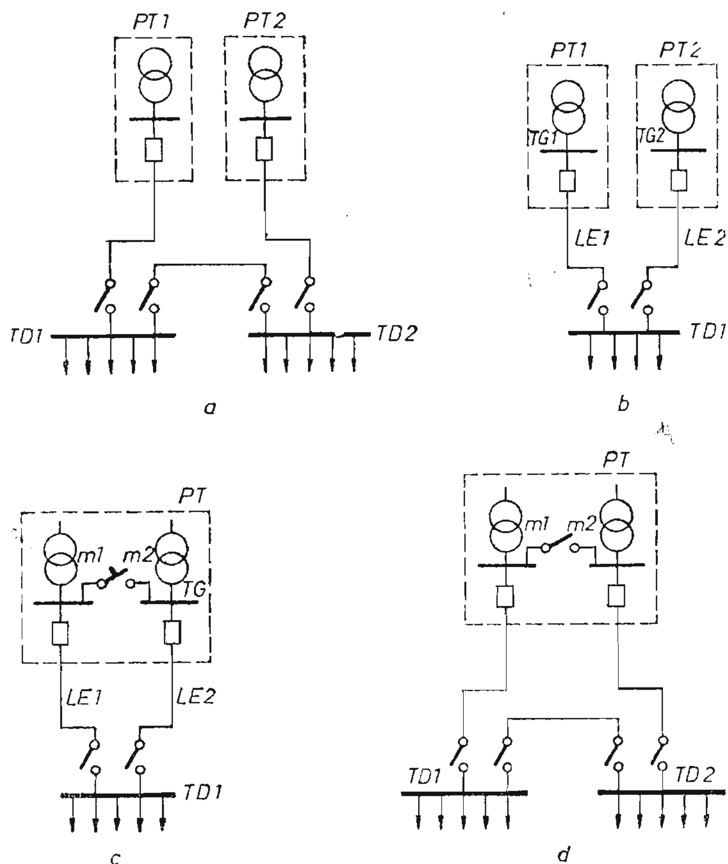


Fig. 4.10. Scheme radiale pentru alimentarea din surse de rezervă a tabloului *TD*1 :

a — racordare la un tablou de distribuţie *TD2* alimentat de la un post de transformare diferit; *b* — racordare la două posturi distincte; *c* — racordare la un *PT* cu două unităţi şi bare secţionate; *d* — racordare la tabloul *TD2* alimentat de la o secţie diferită de bare a aceluiaşi post, prevăzut cu două unităţi.

creează condiţiile pentru o rezervă în surse şi în plus, se măreşte elasticitatea în exploatare a reţelei, permiţînd ca în orele cu sarcină redusă să se alimenteze întreaga reţea de la un singur post, deconectîndu-le pe celelalte.

În stabilirea soluţiilor şi schemelor instalaţiilor de joasă tensiune, proiectantul trebuie să ţină seama că între gradul de siguranţă oferit de furnizor şi cel oferit de instalaţiile de înaltă şi joasă tensiune ale consumatorului trebuie să se asigure o coordonare perfectă.

Pornind de la axioma că un sistem energetic, oricît ar fi de perfect, nu poate oferi în nici un caz continuitate absolută, evitarea marilor pericole ce pot apare la dispariţia tensiunii din sistem, trebuie realizată prin soluţii tehnologice sau energetice aplicate la consumator.

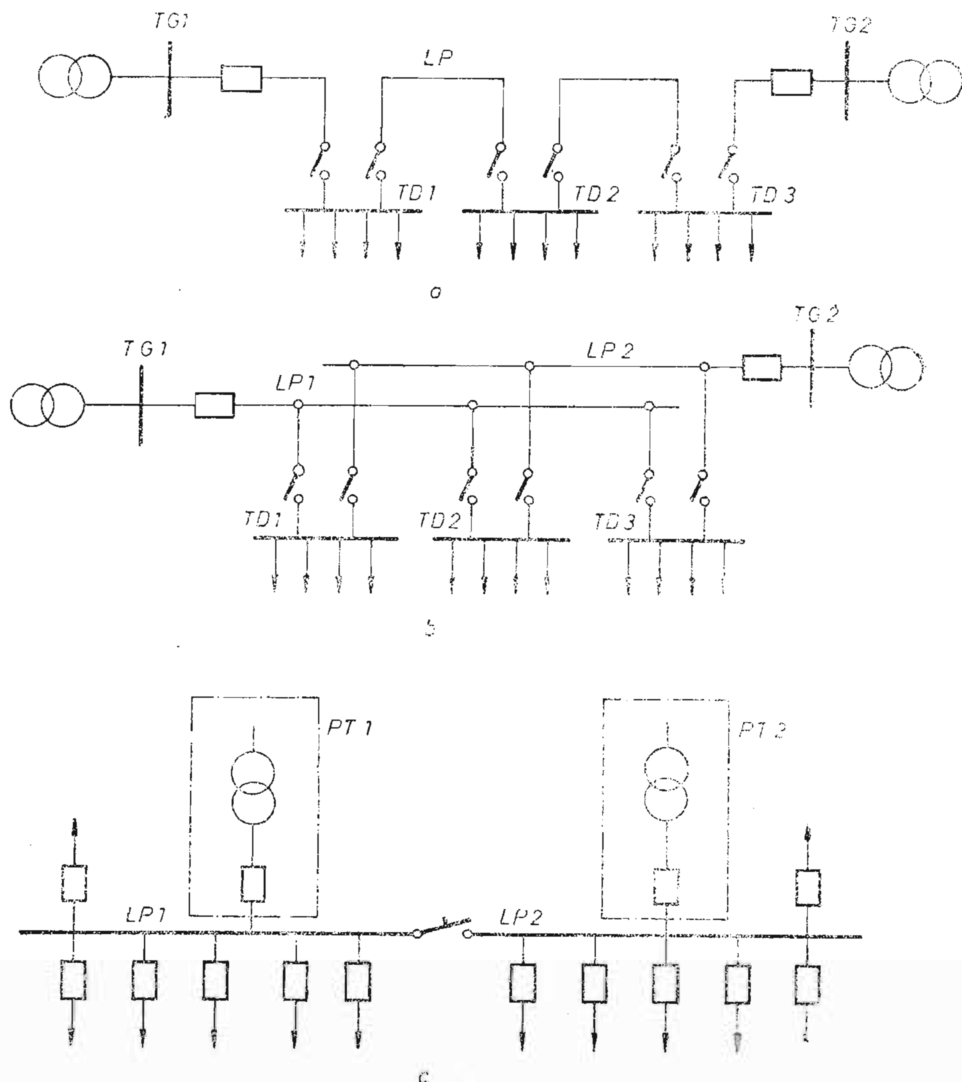


Fig. 4.11. Surse de rezervă pentru tablouri de distribuţie alimentate prin linii principale: *a* — linie principală alimentată la ambele capete; *b* — linie principală dublă cu alimentare din două părţi; *c* — distribuţie bloc transformator-linie principală.

4.5. CONDUCTE ŞI ECHIPAMENT ELECTRIC PENTRU INSTALAŢIILE ELECTRICE DE JOASĂ TENSIUNE

Conductele şi echipamentul electric utilizate în instalaţiile electrice de joasă tensiune se caracterizează printr-o mare diversitate, deosebindu-se din punct de vedere funcţional, constructiv şi prin performanţele atinse.

Pentru executarea instalaţiilor se vor utiliza numai conducte şi echipamente omologate. Alegerea corespunzătoare a acestora este determinată de următorii factori :

— mărimile şi parametrii nominali electrici sau mecanici proprii ai instalaţiilor ;

— categoria locului în care se amplasează instalaţia respectivă ; aceasta este determinată de caracteristicile mediului ambiant (din punct de vedere climatic şi chimic), pericolul de electrocutare, pericolul de incendiu şi explozie, număr de persoane etc. — (tab. 4.1) ;

Tabelul 4.1

Clasificarea încăperilor şi locurilor în care se amplasează instalaţiile electrice

Criteriu	Categoria	Caracteristici
1	2	3
Din punct de vedere al caracteristicilor mediului	U_0	Încăperi uscate : nu se produce ceaţă sau condensaţii pe pereţi, umiditatea aerului sub 75% (camere de locuit, birouri, magazine, săli de clasă, încăperi industriale cu procese tehnologice uscate etc.)
	U_1	Încăperi umede cu intermitenţă (ceaţă sau condensaţii pe pereţi pe perioade scurte) : umiditatea aerului nu depăşeşte timp îndelungat 75% (spaţiile din exterior acoperite în care nu ajung stropi de ploaie, W.C.-urile şi bucătăriile din locuinţe, călcătoriile şi uscătoriile de bloc etc.).
	U_2	Încăperi umede : umiditatea aerului de 75—97%, însă pereţii nu sînt îmbibaţi cu apă (băile şi spălătoriile familiale, bucătăriile publice etc.)
	U_3	Încăperi ude : umiditatea aerului peste 97%, pereţii sînt îmbibaţi cu apă (băi, duşuri şi spălătorii comune sau în industrie, W.C-uri publice, camere frigorifice, staţii de spălare a autovehiculelor etc.).
	PI	Încăperi cu praf incombustibil a cărui depunere pe elementele instalaţiilor electrice poate afecta funcţionarea acestora (depozite de nisip, ateliere de polizat, fabrici de ciment etc.).
	PC	Încăperi cu praf, scame sau fibre combustibile, dar în mod normal suspensiile în aer ale acestora nu sînt în cantităţi suficiente pentru a forma amestecuri explozive sau de aprindere.
	K	Încăperi cu mediu corosiv produs de vapori, gaze, lichide, praf etc., cu acţiune distructivă asupra materialelor utilizate la executarea instalaţiilor electrice (încăperi pentru baterii de acumulatoare, W.C.-uri publice, grajduri etc.).
	T	Încăperi sau părţi din ele cu temperaturi ridicate permanent peste +35°C sau cu depăşiri frecvente peste +40°C (spaţiul din jurul cuptoarelor din turnătorii, forje, ateliere de tratament termic etc.)
	CE	Încăperi bune conductoare de electricitate : au pereţi, pardoseală, obiecte interioare bune conductoare de electricitate (v. mai jos „Încăperi periculoase şi foarte periculoase”)
	EE	Încăperi speciale pentru echipamente electrice accesibile numai persoanelor calificate care au în sarcină exploatarea acestor echipamente (staţii şi posturi de transformare şi conexiuni, camere de distribuţie, camere de comandă etc.)

1	2	3	
	Pericol de deteriorare mecanică	Încăpere, spaţiu sau loc în care instalaţia electrică este expusă pericolului de degradare datorită loviturilor.	
	Spaţiu expus la intemperii	Spaţiu expus la acţiunea agenţilor exteriori naturali (ploaie, soare, ger, zăpadă, gheaţă etc).	
	Zona litoralului	Zonă ce se întinde pe o lăţime de cca 3 km de-a lungul ţărmului mării.	
Din punct de vedere al pericolului de electrocutare	Puţin periculoase	Încăperile sau locurile caracterizate prin: — umiditatea relativă a aerului de max. 75%; — temperatura aerului de 15...30 °C; — pardosea izolantă.	
	Periculoase	Încăperile sau locurile unde este îndeplinită cel puţin una din următoarele condiţii: — pardosea bună conducătoare de electricitate (beton, pămînt etc.); — obiecte conductive în legătură electrică cu pămîntul, care ocupă pînă la 60% din suprafaţa zonei de manipulare; — umiditatea şi temperatura aerului sînt respectiv 75...97% şi 30...35 °C; — prezenţă de pulberi conductive (pilituri metalice, oxizi metalici etc); — prezenţă de fluide care micşorează rezistenţa electrică a corpului omenesc.	
	Foarte periculoase	Încăperile sau locurile unde este îndeplinită cel puţin una din următoarele condiţii: — umiditatea relativă a aerului este peste 97%, iar temperatura peste 35 °C; — obiectele conductive în legătură cu pămîntul ocupă peste 60% din suprafaţa zonei de manipulare; — mediul este coroziv.	
Din punct de vedere al pericolului de incendiu şi explozie	A	Încăperi şi secţii unde se prelucrează, manipulează sau depozitează: substanţe a căror aprindere sau explozie poate avea loc în urma acţiunii apei sau oxigenului din aer, lichide cu temperatura de inflamabilitate a vaporilor pînă la 20 °C, gaze şi vapori cu limita inferioară de explozie pînă la 10%, cînd sînt în cantităţi care pot forma cu aerul amestecuri explozibile	Funcţie de iminenţa pericolului de explozie, încăperile sînt de următoarele categorii: — E.Io — amestecurile explozive de gaze sau vapori inflamabili există permanent în condiţii normale de funcţionare; — E.I — amestecurile explozive de gaze sau vapori inflamabili există: intermitent sau periodic, în condiţii normale de funcţionare, frecvent — datorită întreţinerii, reparaţiilor sau neetanşeităţilor, ocazional —

1	2	3	
Din punct de vedere al pericolului de incendiu și explozie	B	Idem : lichide cu temperatura de inflamabilitate a vaporilor de 20... ...120 °C, gaze și vapori cu limita inferioară de explozie mai mare de 10%, cînd sînt în cantități care pot forma cu aerul amestec explozibil	— la avarii sau funcționări anormale a instalațiilor tehnologice, situații ce duc și la deranjamente periculoase în funcționarea instalațiilor electrice ; — E.Ia — gazele sau lichidele inflamabile sînt păstrate, manipulate și depozitate în vase sau instalații închise, din care pot scăpa accidental ; concentrațiile periculoase sînt evitate normal prin ventilație mecanică ; pot pătrunde concentrații periculoase din încăperile vecine de categoria E.I ; — E.Ib — gazele sau vaporii inflamabili au limita inferioară de explozie peste 15% și miros puternic la concentrația limită admisă ; lucrul se face sub nișe sau hote de absorbție ; cantitățile de gaze și vapori nu pot forma concentrații periculoase ; — E.II — praf combustibil în suspensie (permanent, periodic sau intermitent) în condiții de funcționare normală și în cantități ce pot forma amestecuri explozive sau incendiare : oprirea sau funcționarea anormală a instalațiilor ar duce la formarea concentrațiilor periculoase, posibil să fie aprinse de deranjamente concomitente la instalația electrică ; pot apare prafuri bune conducătoare de electricitate ; — EIIa — praf combustibil depozitat pe echipamentul electric, împiedicînd evacuarea căldurii și deci prezentînd pericol de aprindere ; — EIII — fibre sau scame ușor inflamabile în suspensie, dar în cantități ce nu pot forma amestec explosibil ; — E.IIIb — Se depozitează sau manipulează fibre ușor combustibile.
	C	Idem : substanțe și materiale combustibile solide și lichide cu temperatura de inflamabilitate a vaporilor peste 120 °C sau unde există aparataj electric cu peste 60 kg ulei pe unitate	
	D	Idem : substanțe și materiale incombustibile în stare fierbinte, topită sau incandescentă, însoțită de degajări de căldură radiantă sau de flăcări și scîntei, precum și încăperile sau secțiile unde substanțele combustibile (solide, lichide sau gazoase) sînt folosite drept combustibil	
	E	Idem : substanțe și materiale incombustibile în stare rece sau materiale combustibile în stare de umiditate înaintată, cu posibilități de aprindere excluse	
Din punct de vedere al numărului de persoane	Aglomerate	Încăperile unde se pot găsi simultan minimum 50 persoane, fiecăreia revenindu-i maximum 4 m² de pardoseală, sălile de teatru indiferent de capacitate ; săli de spectacol sau întruniri, grupuri de încăperi pentru expoziții, cluburi și cămine sindicale, amplasate la etaj sau parter, dacă pot adăposti minimum 150 (la etaj) sau 200 (la parter) persoane	
	Neaglomerate	— Încăperi care nu intră în categoria încăperilor aglomerate	

— gradul de protecție al echipamentului față de mediul ambiant (tab. 4.9) ;

— indicațiile pentru montare (tab. 4.2) ;

Utilizarea echipamentelor electrice funcție de mediu

Specificație	În interior															În exterior		
	Categoriile A, B							Categoriile C, D, E										
	E.I	E.Ia	E.Ib	EII	E.IIa	E.III	E.IIIa	U_0	U_1	U_2	U_3	PI, PC	K	T	EE	U_5	I	S
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Conductoare neizolate	—	—	—	—	—	○	○	○	○	—	—	—	—	○	○	—	○	○
Conductoare izolate – Neprotejate	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	○	—	—	—	○	○
Conductoare izolate – Protejate în: IP, IPF, IPFR	—	—	—	—	—	—	—	○	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Conductoare izolate – Protejate în: PEL	—	—	—	○	○	○	○	—	—	○	○	○	○	○	—	○	—	—
Conductoare izolate – Protejate în: T	○	○	○	○	○	○	○	—	—	○	○	○	○	○	—	○	—	—
Conductoare izolate – Protejate în: IPY, IPFY	—	—	—	—	—	—	—	○	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Conductoare izolate – Protejate în: IPEY	—	—	—	—	—	—	—	—	—	○	○	○	○	—	—	○	—	—
Conductoare izolate – Cu manta (punte)	—	—	—	—	—	—	—	○	○	—	○	—	—	—	○	—	—	—
Cabluri electrice – Nearmate: ...YY	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	—	○	○	○	○
Cabluri electrice – Nearmate: ...YP	○	○	○	○	○	○	○	—	—	—	○	○	○	—	○	—	—	○
Cabluri electrice – Nearmate: ...YPY	○	○	○	○	○	○	○	—	—	—	○	○	○	—	○	—	—	○
Cabluri electrice – Nearmate: ...HP	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	○	○	○	—	○	—	—	○
Cabluri electrice – Armate: ...YAY	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	—	○	—	○	○
Cabluri electrice – Armate: ...YPAY	○	○	○	○	○	○	○	—	—	—	○	○	○	—	○	—	○	○
Cabluri electrice – Armate: ...HPB	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	○	○	—	—	—	—	—
Cabluri electrice – Armate: ...HPBI	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	○	○
Bare neizolate – Neprotejate IP 00	—	—	—	—	—	○	○	○	○	—	—	—	—	○	○	○	○	—
Bare neizolate – Protejate: IP 30	—	—	—	—	—	—	—	○	○	—	—	—	—	○	—	—	—	—
Bare neizolate – Protejate: IP 33	—	—	○	—	—	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—	○	○	—
Bare neizolate – Protejate: IP 44	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—	—
Bare neizolate – Protejate: IP 54	—	○	—	○	○	—	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—	—	—
Bare neizolate – Protejate: Ex. d	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Bare neizolate – Protejate: Ex. i	○	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Bare neizolate – Protejate: Special	—	—	—	—	—	—	—	○	—	—	—	○	○	—	—	—	—	○
Aparate electrice protejate: IP 00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	○	—	—	—
Aparate electrice protejate: IP 30	—	—	—	—	—	—	—	○	○	○	—	—	—	—	—	—	—	—
Aparate electrice protejate: IP 33	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	○	○	—
Aparate electrice protejate: IP 44	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—	—
Aparate electrice protejate: IP 54	—	—	○	—	—	○	○	—	—	—	○	—	—	—	—	—	—	—
Aparate electrice protejate: Ex. d	○	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Aparate electrice protejate: Ex. e, s	—	—	—	○	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Aparate electrice protejate: Special	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	○	○	—	—	—	○
Corpuri de iluminat protecție: IP 00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	○	—	—	—
Corpuri de iluminat protecție: IP 20	—	—	—	—	—	—	—	○	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Corpuri de iluminat protecție: IP 33	—	—	—	—	—	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—	○	○	—
Corpuri de iluminat protecție: IP 54	—	—	○	○	○	○	○	—	—	—	○	○	—	—	—	—	—	—
Corpuri de iluminat protecție: Ex. d	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Corpuri de iluminat protecție: Ex. e, s	—	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Corpuri de iluminat protecție: Specială	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	○	○	—	—	—	○
Mașini electrice rotative, protecție: IP 00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	○	—	—	—
Mașini electrice rotative, protecție: IP 22	—	—	—	—	—	—	—	○	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mașini electrice rotative, protecție: IP 23	—	—	—	—	—	○	—	—	—	○	—	—	—	—	—	—	—	—
Mașini electrice rotative, protecție: IP 44	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—	—
Mașini electrice rotative, protecție: IP 54	—	—	○	○	○	○	○	—	—	—	○	—	—	—	—	—	○	—
Mașini electrice rotative, protecție: Ex. d	○	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mașini electrice rotative, protecție: Ex. c, s	—	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mașini electrice rotative, protecție: Specială	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	○	○	—	—	—	○
Transformatoare, condensatoare, protecție: IP 00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	○	—	—	—
Transformatoare, condensatoare, protecție: IP 20	—	—	—	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Transformatoare, condensatoare, protecție: IP 21	—	—	—	—	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Transformatoare, condensatoare, protecție: IP 23	—	—	—	—	—	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—	○	○	—
Transformatoare, condensatoare, protecție: IP 44	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—	—
Transformatoare, condensatoare, protecție: IP 54	—	—	○	—	○	○	○	—	—	—	○	—	—	—	—	—	—	—
Transformatoare, condensatoare, protecție: Ex. (v. obs.)	○	○	—	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Transformatoare, condensatoare, protecție: Specială	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	○	○	—	—	—	○
Unelte portative protecție: IP 00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	○	—	—	—
Unelte portative protecție: IP 30	—	—	—	—	—	—	—	○	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Unelte portative protecție: IP 33	—	—	—	—	—	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—	—	○	—
Unelte portative protecție: IP 44	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—	—
Unelte portative protecție: IP 54	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—	—	—

Observații.

Condiții de utilizare:

— în încăperile de categoriile A, B, C conductoarele și barele neizolate neprotejate se pot utiliza numai ca linii de contact pentru alimentări prin culegători de curent (este însă preferabilă utilizarea cablurilor trenate);

— conductoarele izolate neprotejate, tuburile PVC și cablurile cu manta de PVC montate aparent în încăperi de categoria C se admit numai dacă o avarie în aceste instalații nu poate provoca un incendiu;

— temperatura mediului trebuie să fie cuprinsă în limitele −25 ... +40 °C pentru tuburile PVC și −30 ... ... +40 °C pentru cablurile cu izolație și manta de PVC;

— materialul conductoarelor neprotejate și învelișul exterior al conductoarelor izolate, tuburilor de protecție, cablurilor și carcaselor trebuie să fie rezistente la acțiunea corosivă a mediului de amplasare iar în exterior și la intemperii;

— tuburile și cablurile cu înveliș de PVC nu pot fi montate îngropat in elemente de construcție combustibile; se pot monta însă aparent pe aceste elemente, dacă se interpune un strat de material incombustibil;

— transformatoarele și condensatoarele pentru medii cu pericol de explozie se montează obișnuit în încăperi separate, bine ventilate; cînd este absolut necesar se pot monta și în mediul cu pericol de explozie, numai dacă sînt fără lichide combustibile de răcire; în acest caz modul de realizare a protecției antiexplozive va fi corespunzător mediului respectiv.

— caracterul specific al instalației electrice respective (iluminat, forță, AMC, specială);

— directivele și actele normative privind limitarea consumului de materiale deficitare, folosirea cu precădere a materialelor plastice și economia de energie electrică.

Indicații concrete privind alegerea tipurilor constructive ale conductelor și echipamentelor pentru instalațiile electrice de joasă tensiune sînt date în [32]. Utilizarea unor echipamente necorespunzător protejate pentru mediul respectiv, pe lîngă degradarea lor timpurie, poate duce la accidente grave din punct de vedere al protecției muncii, după cum utilizarea unor echipamente exagerat de protejate aduce prejudicii prin ridicarea inutilă a costului instalației și prin consum suplimentar de materiale în general greu procurabile.

4.5.1. CONDUCTE ELECTRICE

Materialele conductoare sînt cuprul, aluminiul, oțelul și oțel-aluminiul.

Din punct de vedere constructiv, conductoarele electrice se execută unifilare sau multifilare, ultimele prezentînd avantajul flexibilității și al reducerii efectului pelicular în curent alternativ. Secțiunile normalizate sînt: 0,75; 1; 1,5; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 35; 50; 70; 95; 120; 150; 185; 240; 300; 400; 500; 600 mm^2.

Conductele utilizate în instalațiile electrice se clasifică în: *conducte neizolate* (conductoare și bare), *conducte izolate pentru instalații fixe, conducte izolate pentru instalații mobile, cabluri* (de energie, pentru comandă și control, pentru telemecanică), *conducte cu destinație specială* și *conducte pentru autovehicule.*

Simbolurile, caracteristicile, domeniile de utilizare și condițiile tehnice ale conductoarelor electrice sînt analizate pe larg în [24].

a. *Conductele neizolate* se utilizează sub formă de funii cu unul sau mai multe fire — la liniile electrice aeriene de transport și alimentare, sau bare — la linii de contact pentru mașini de ridicat și transportat, la rețele de distribuție, la barele tablourilor electrice și bateriilor de condensatoare, la rețelele scurte ale cuptoarelor electrice și în încăperi în care izolația conductelor poate fi repede degradată datorită mediului coroziv sau a temperaturii ridicate.

Intensitățile maxim admise ale curenților în regim permanent depind de mai mulți factori: tipul conductei și materialul conductor, temperatura mediului ambiant, temperatura maxim admisă pe conductor, amplasament (interior, exterior, număr fire sau bare pe pol, altitudine) etc.; valorile intensităților maxim admise pentru diferite conducte neizolate sînt date în tabelul 4.3. Pentru barele nevopsite și cele de secțiune inelară sau profilată U din cupru sau aluminiu, intensitățile maxim admise se vor încadra în prevederile STAS 7944-79.

Barele pot fi montate în execuție:

— *deschisă* (barele nu sînt protejate, dar se amplasează la înălțimi inaccesibile);

— *acoperită* (barele se introduc în canale de beton);

— *protejată* (barele se introduc în canale din tablă de oțel, fontă sau PVC avînd gradul de protecție minim IP33);

Tabelul 4.3

Intensitățile maxim admise $I_{C\,adm}$ ale curenților în regim permanent pentru conducte neizolate și bare vopsite, montate în aer, la temperatura mediului ambiant de +25°C

	Secțiune [mm²]	Curentul maxim admis [A]							Secțiune, mm²	Curentul maxim admis [A]						
		Cu		Al		OL–Al		OL		Cu		Al		OL–Al		OL
		Interior	Exterior	Interior	Exterior	Interior	Exterior	Exterior		Interior	Exterior	Interior	Exterior	Interior	Exterior	Exterior
Conducte neizolate (funie)	6	50	70	—	—	—	—	—	120	395	485	300	375	305	380	—
	10	80	95	60	75	50	80	—	150	465	570	355	440	365	445	—
	16	100	130	75	105	75	105	45	185	530	640	410	500	425	510	—
	25	140	180	105	135	100	130	60	240	635	760	490	590	505	610	—
	35	170	220	130	170	135	175	75	300	740	880	570	680	585	690	—
	50	215	270	165	215	165	210	90	400	895	1 050	690	815	715	835	—
	70	270	340	210	265	210	265	125	500	—	—	820	980	—	—	—
	95	335	415	255	320	260	330	140	600	—	—	930	1 070	—	—	—

	Diametru [mm]	Secțiune [mm²]	Cupru			Aluminiu			Oțel		Diametru [mm]	Secțiune [mm²]	Cupru			Aluminiu			Oțel	
			Greutate [daN/m]	Curent [A]		Greutate [daN/m]	Curent [A]		Greutate [daN/m]	Curent [A]			Greutate [daN/m]	Curent [A]		Greutate, [daN/m]	Curent [A]		Greutate, [daN/m]	Curent [A]
				c.a.	c.c.		c.a.	c.c.		c.a., c.c.				c.a.	c.c.		c.a.	c.c.		c.a., c.c.
Bare rotunde	6	28,27	0,252	140	140	0,077	115	115	—	—	22	380,00	3,380	885	895	1,030	700	705	2,980	132
	7	38,48	0,343	180	180	0,104	140	140	—	—	25	490,90	4,370	1 055	1 080	1,330	840	855	3,800	147
	8	50,27	0,447	215	215	0,136	170	170	0,395	48	28	615,80	5,480	1 225	1 360	1,660	975	1 000	—	—
	10	78,54	0,699	300	300	0,212	230	230	0,617	57	30	706,90	6,291	1 340	1 380	1,910	1 065	1 100	5,550	172
	12	113,1	1,007	385	385	0,305	305	305	0,888	67	32	804,20	7,178	1 440	1 540	—	—	—	—	—
	14	153,9	1,370	465	465	0,416	370	370	1,210	81	35	962,10	8,563	1 640	1 770	2,600	1 300	1 380	—	—
	16	201 1	1,790	565	570	0,543	450	450	1,580	95	38	1 134	10,100	1 810	1 940	3,060	1 435	1 540	—	—
	18	254,5	2,265	665	670	0,687	530	530	2,000	100	40	1 257	11,180	1 925	2 090	3,390	1 530	1 660	—	—
	20	314,2	2,800	770	775	0,848	615	620	2,470	124	45	1 590	14,150	2 220	2 470	4,290	1 750	1 960	—	—

Tabelul 4.3 (continuare)

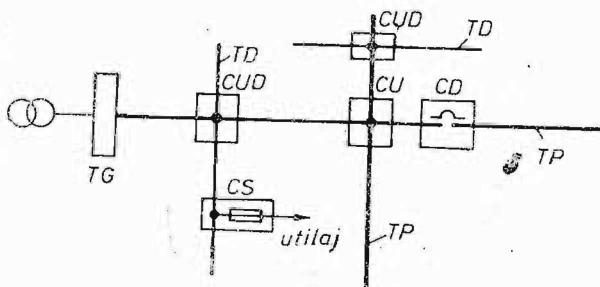
	Material	Dimensiuni		Secţiune [mm²]	Greutate [daN/m]	Curentul maxim admis în A, pentru un număr de bare pe fază sau pol de:							
		lungime [mm]	grosime [mm]			Curent alternativ				Curent continuu			
						1	2	3	4	1	2	3	4
Bare dreptunghiulare montate pe muchie (cant)	Cupru	20	3	60	0,53	290	—	—	—	295	—	—	—
		20	5	100	0,89	385	—	—	—	390	—	—	—
		25	5	125	1,11	465	—	—	—	470	—	—	—
		30	5	150	1,34	530	—	—	—	540	—	—	—
		40	5	200	1,78	710	1 180	—	—	715	1 215	—	—
		40	10	400	3,56	1 000	1 770	—	—	1 025	1 830	—	—
		50	5	250	2,23	850	1 410	—	—	870	1 500	—	—
		50	10	500	4,45	1 215	2 125	—	—	1 260	2 240	—	—
		60	5	300	2,67	1 000	1 685	2 300	—	1 025	1 770	2 475	—
		60	10	600	5,34	1 415	2 475	3 305	—	1 475	2 595	3 540	—
		80	5	400	3,55	1 260	2 240	2 950	—	1 300	2 360	3 185	—
		80	10	800	7,12	1 840	2 950	3 895	—	1 970	3 305	4 600	—
		100	5	500	4,45	1 590	2 715	3 540	—	1 650	2 950	4 010	—
		100	10	1 000	8,90	2 215	3 655	4 720	6 370	2 360	4 245	5 780	7 315
	Aluminiu	20	3	60	0,162	225	—	—	—	230	—	—	—
		20	5	100	0,270	300	—	—	—	310	—	—	—
		30	3	90	0,243	325	—	—	—	335	—	—	—
		30	5	150	0,405	415	—	—	—	435	—	—	—
		40	5	200	0,540	530	920	—	—	555	955	—	—
		40	10	400	1,080	770	1 380	—	—	805	1 425	—	—
		50	5	250	0,675	645	1 115	—	—	680	1 175	—	—
		50	10	500	1,350	940	1 660	—	—	975	1 750	—	—
		60	5	300	0,810	770	1 335	—	—	805	1 390	—	—
		60	10	600	1,620	1 105	1 930	2 620	—	1 150	2 000	2 875	—
		80	5	400	1,080	1 010	1 725	2 300	2 990	1 045	1 840	2 530	3 220
		80	10	800	2,160	1 435	2 460	3 290	4 370	1 495	2 645	3 680	4 715
		100	10	1 000	2,700	1 750	2 930	3 910	4 945	1 815	3 220	4 485	5 750

Tabelul 4.3 (continuare)

	Material	Dimensiuni		Secțiune [mm²]	Greutate, [daN/m]	Curentul maxim admis [A]	
		lungime [mm]	grosime [mm]			c.a.	c.c.
Bare dreptunghiulare montate pe muchie (cant)	Oțel	20	3	60	0,47	65	100
		20	4	80	0,63	70	115
		25	3	75	0,59	80	120
		25	4	100	0,78	85	140
		30	3	90	0,71	95	140
		30	4	120	0,94	100	165
		40	3	120	0,94	125	190
		40	4	160	1,26	130	220
		50	3	150	1,18	155	230
		50	4	200	1,57	165	270
		60	3	180	1,41	185	280
		60	4	240	1,88	195	325
		70	3	210	1,65	215	320
		70	4	280	2,20	225	375
		80	3	240	1,88	245	265
		80	4	320	2,51	260	430
		90	3	270	2,12	275	410
		90	4	360	2,83	290	480
		100	3	300	2,35	305	460
		100	4	400	3,14	325	535

Fig. 4.12. Schema unei instalații de distribuție cu bare protejate sau capsulate:

TG — tablou de distribuție general; *TP* — tronson de bare principale; *TD* — tronson de bare de distribuție; *CU* — cutie universală pentru magistrale; *CUD* — cutie universală de distribuție; *CS* — cutie de siguranțe; *CD* — cutie de dilatare.



— *capsulată* (barele se introduc în canale cu grad de protecție minim IP54).

Instalațiile de alimentare cu bare protejate sau capsulate permit industrializarea lucrărilor de montaj, măresc siguranța în alimentarea cu energie electrică, asigură extinderea sau modificarea ușoară a rețelei de alimentare și permit și fixarea corpurilor de iluminat pe tronsoane.

În același timp, instalațiile electrice de alimentare prefabricate micșorează pericolul de electrocutare în timpul intervențiilor pentru eliminarea eventualelor defecte. Ele se compun (fig. 4.12) din tronsoane de bare principale (magistrale) și de distribuție, cutii universale pentru îmbinări și derivații (cot, teu sau cruce), cutii de dilatare, cutii cu siguranțe pentru racordarea receptoarelor (forță sau iluminat), piese de capăt (de închidere) și accesorii diferite pentru fixare și montare. Instalațiile se montează la înălțime, semiînălțime sau în pardoseală (fig. 4.13).

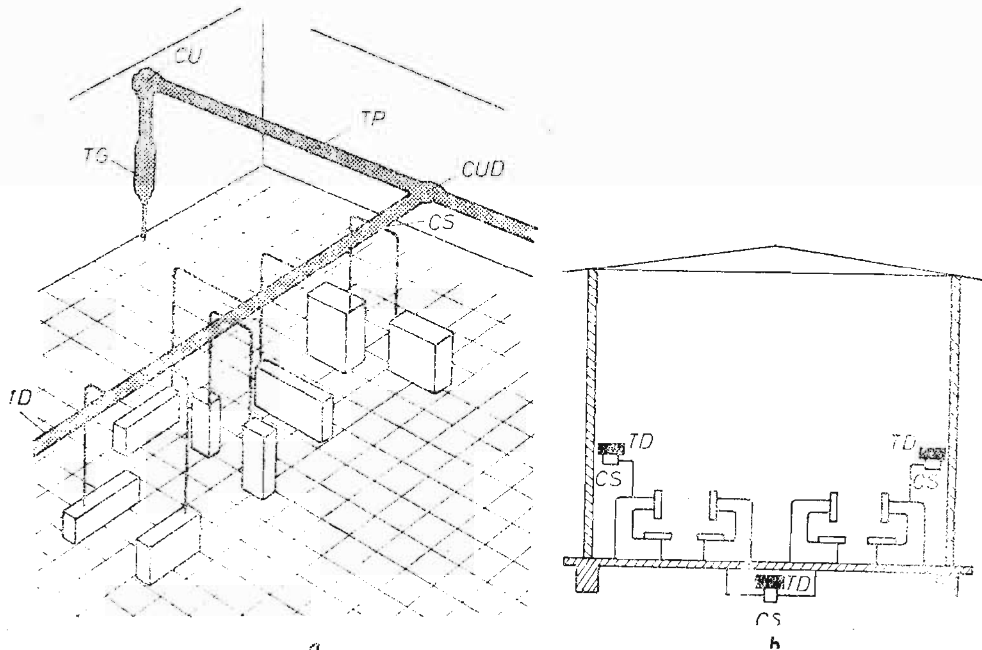


Fig. 4.13. Montarea instalațiilor de distribuție cu bare protejate sau capsulate:
a — la înălțime; *b* — la semiînălțime și în pardoseală.

La primele două soluţii, sistemul de distribuţie se fixează cu ajutorul unor cabluri de oţel, tensionate cu întinzătoare de capăt. Montarea cablurilor de oţel se poate realiza:

— pe console fixate de ziduri sau stîlpi;

— pe stîlpi independenţi fixaţi în pardoseala halelor industriale;

— pe fermele halelor industriale.

Alimentarea cu bare nu se poate utiliza în încăperi cu pericol de explozie şi în hale în care există degajări masive de praf sau vapori corosivi sau în care umiditatea relativă depăşeşte 80%.

În R.S. România se produc sisteme de bare capsulate tip TIAB (Trustul de instalaţii şi automatizări Bucureşti) şi Electromureş (tab. 4.4).

În instalaţiile electrice realizate cu conducte neizolate se folosesc o serie de accesorii de montaj ca:

— cleme de legătură electrică pentru linii aeriene: clemă universală pentru conductoare de cupru cu un şurub (simbol U1, $s_c = 6 \ldots 25$ mm²); idem cu două şuruburi (simbol U2, $s_c = 6 \ldots 95$ mm²); clemă universală pentru conductoare de aluminiu cu secţiuni egale (simbol UA, $s_c = 16 \ldots$ $\ldots 95$ mm²); idem cu secţiuni diferite (simbol UB, $s_c = 16 \ldots 95$ mm²); cleme de legătură electrică cu plăci de contact (LEPC1 ... 3, CLEAL) care asigură legătura electrică între două conductoare cu secţiuni egale de cupru, aluminiu, oţel-aluminiu şi oţel;

— cleme de legătură mecanică pentru linii aeriene: active (TP), active şi de protecţie (TLC2, TLC3, CTPF), de protecţie (TP1, TP2, TP3, CTP1, CTP2, CTP3);

— izolatoare pentru linii aeriene: de susţinere tip N şi de tracţiune, tip T (pentru un singur conductor) sau TD (două conductoare); izolatoare pentru siguranţe fuzibile (simbol Sig); izolatoare pentru ancorare (A3, A6, A8, IN, IOA, RS_3, IS, IAS_2);

— suporturi şi treceri izolante pentru bare, în staţii electrice; izolatoare pentru tracţiune electrică şi izolatoare de tracţiune electrică la macarale şi poduri rulante;

— izolatoare pentru instalaţii interioare (iluminat sau forţă) aparente neprotejate (rolă *R*, rolă clopot *RC* şi rolă mosor *Rm*).

b. *Conductele izolate pentru instalaţii fixe* sînt realizate din cupru cu izolaţie de cauciuc (F 750, Ff750 şi Fff750) sau PVC (FY) şi din aluminiu cu izolaţie de cauciuc (AF 750) sau de PVC (AFY). Intensităţile maxim admise în regim permanent pentru aceste conducte sînt date în tabelul 4.5.

Pentru a se asigura protecţia loviturilor şi a acţiunii mediului ambiant, conductele se introduc în tuburi alese în funcţie de gradul de protecţie pe care trebuie să-l asigure, de numărul şi secţiunea conductelor pe care le protejează [32 — anexa 10]. În instalaţiile electrice de joasă tensiune se utilizează:

— *tuburi izolante uşor protejate* din PVC, rigide (*IPY*) sau flexibile (*IPFY*); se montează în încăperi de categoriile U_0 şi U_1 instalate pe elemente de construcţie incombustibile în montaj îngropat (*ST*) sau aparent (*PT*), în locuri unde nu există pericol de deteriorări mecanice şi la înălţimea de cel puţin 2 m de la pardoseală;

— *tuburi de protecţie etanşe şi lăcuite.* (PEL) sau ţevi de oţel (T); se utilizează în încăperi de categoriile U_2, U_3, PI, PC, T şi C în montaj aparent sau îngropat şi în încăperi de categoria K, cu condiţia vopsirii lor cu vopsea anticorozivă corespunzătoare mediului respectiv;

Tabelul 4.4

Caracteristicile tehnice ale unor sisteme de bare capsulate sau protejate de joasă tensiune produse în R. S. România

Ansamblu	Elemente componente	Curent nominal [A]	Dimensiuni de gabarit [mm]
Sisteme de bare principale (magistrale)	Tronsoane principale *(TP)*	630; 1 000; 1 600	(290 × 170) × 750; 1 500
	Cutii de colț *(CC)*	—	290 × 290 × 350
	Cutii ramificație principală-principală în *L*, *T* sau cruce.	630; 1 000; 1 600	290 × 230 × 350
	Idem, principală-distribuție, în *L*, *T* sau cruce	630; 1 000; 1 600/200; 400	400 × 400 × 200
	Cutii de dilatare *(CD)*	630; 1 000; 1 600	—
	Piese de capăt	—	—
Sisteme de bare de distribuție (DISBAR)	Tronson de distribuție *(TD)*	200; 400	(260 × 105) × 1 600; 800; 450
	Cutii de colț *(CC)*	—	200 × 200 × 350
	Cutii de ramificație bare distribuție, în *L*, *T* sau cruce	200; 400	350 × 350 × 150
	Cutii de dilatare *(CD)*	200; 400	—
	Cutii de siguranțe *(CS)*	25; 63; 100; 315	260 × 165 × 300
	Piese de capăt	—	—
Sisteme de bare principale (magistrale)	Tronson principal *(TP)*	750; 1 350; 1 500	305 × 102 × 142 ÷ 2040
	Cutie universală *(CU)*	—	477 × 722 × 275
	Cutie de dilatare *(CD)*	—	722 × 402 × 402
Sisteme de bare de distribuție	Tronson distribuție *(TD)*	200	200 × 280 × 102 ÷ 170
	Cutie universală de distribuție *(CUD)*	200	642 × 380 × 300
	Cutie de siguranțe *(CS)*	25; 63; 100; 200	200 × 252 × 155

Intensitățile maxime admise I_{Cadm} ale curenților în regim permanent pentru conducte cu izolație de PVC sau cauciuc, utilizate în instalații fixe, la temperatura mediului ambiant de +25°C

Secțiunea [mm²]	Intensitatea maxim admisă a curentului [A]									
	Conducte FY, F750					Conducte AFY, AF750				
	Libere în aer	Montate în tub cîte				Libere în aer	Montate în tub cîte			
		2	3	4	5; 6		2	3	4	5; 6
1	20	14	12	11	10	—	—	—	—	—
1,5	25	17	14	13	11	—	—	—	—	—
2,5	34	24	20	18	16	27	18	16	15	13
4	45	31	26	24	21	35	23	20	18	16
6	57	40	34	31	27	45	30	27	25	21
10	78	55	49	45	39	61	41	36	33	29
16	104	73	64	58	51	82	55	47	43	38
25	137	100	84	76	67	107	74	66	60	53
35	168	125	108	98	87	132	95	83	76	65
50	210	150	135	123	109	165	118	103	94	82
70	260	200	171	156	137	205	155	131	119	104
95	310	241	218	198	174	245	187	166	151	133
120	365	272	250	228	196	285	217	191	174	153
150	415	310	280	255	224	330	238	214	195	171
185	475	—	—	—	—	375	—	—	—	—
240	560	—	—	—	—	440	—	—	—	—
300	645	—	—	—	—	510	—	—	—	—
400	750	—	—	—	—	605	—	—	—	—

Observații. *1.* Temperatura maxim admisă pe conductor este +70°C pentru izolația din PVC și +60°C pentru izolația din cauciuc.
2. Intensitățile maxim admise ale curenților pentru 3 conducte în tub sînt valabile și pentru circuitele trifazate echilibrate sau nu, avînd conducta de nul și protecție (4 sau 5 conducte în același tub, din care 3 active).
3. Intensitățile maxim admise de curent pentru conducte cu izolație și manta vor fi, în cazul conductelor cu 2 respectiv 3 conductoare, cele pentru 2 respectiv 3 conducte în tub, la secțiunile corespunzătoare.

— *tuburi izolate de protecţie etanşe din PVC* rigide (IPEY) şi ţevi din PVC tip 1 (foste ţevi PVC—U); se utilizează în încăperi de categoriile U_2, U_3 şi PI sau încăperi cu degajări de vapori corozivi pentru alte materiale decît PVC-ul în montaj aparent sau îngropat pe (în) elemente de construcţie incombustibile.

Dimensiunile tuburilor şi ţevilor de protecţie din PVC utilizate în instalaţiile electrice sînt date în tabelul 4.6.

Tabelul 4.6

Tuburi şi ţevi din PVC pentru protecţia conductoarelor izolate de tip FY, AFY

IPY-STAS 6990-77+1.7.78	d [mm]	10,4	13,4	15,4	21,7	28,1	36,4
	d_1 [mm]	13	16	18	25	32	39
	γ [kg/m]	0,066	0,081	0,091	0,162	0,250	0,343
n_{cM}/tub pentru s_c [mm²]	0,5	6	8	11	17	24	—
	1	4	7	8	10	16	28
	1,5	3	5	7	8	10	17
	2,5	1	3	5	7	8	12
	4	1	2	3	6	7	10
	6	1	2	3	6	7	—
	10	—	1	1	3	5	7
	16	—	1	1	2	3	5
	25	—	—	1	1	3	4
	35	—	—	—	1	1	3
	50	—	—	—	1	1	2
	70	—	—	—	—	1	1
	95	—	—	—	—	1	1
	120	—	—	—	—	—	1
IPEY - STAS 6990-77+1.7.78	d [mm]	13,4	16,8	21,8	28,1	35,6	45,2
	d_1 [mm]	16	20	25	32	40	50
	γ [kg/m]	0,081	0,121	0,160	0,250	0,352	0,484
	1	2	3	4	5	6	7
n_{cM}/tub pentru s_c [mm²]	0,5	8	11	17	24	—	—
	1	7	8	10	16	28	42
	1,5	5	7	8	10	17	28
	2,5	3	5	7	8	12	18
	4	2	3	6	7	10	14
	6	2	3	6	7	—	—
	10	1	1	3	5	7	—
	16	1	1	2	3	5	7
	25	—	1	1	3	4	6
IPEY - STAS 6990-77+1.7.78, n_{cM}/tub pentru s_c [mm²]	35	—	—	1	1	3	5
	50	—	—	1	1	2	4
	70	—	—	—	1	1	3
	95	—	—	—	1	1	2
	120	—	—	—	—	1	1
	150	—	—	—	—	1	1
	185	—	—	—	—	1	1
PVC-U-STAS 6675-76+1.7.78	d [mm]	46,4	59,4	71,4	86,4	—	—
	d_1 [mm]	50	63	75	90	—	—
	γ [kg/m]	0,442	0,530	0,642	0,774	—	—
n_{cM}/tub pentru s_c [mm²]	16	7	—	—	—	—	—
	53	5	7	—	—	—	—
	69	4	5	7	—	—	—
	70	3	4	6	—	—	—
	95	2	4	5	—	—	—
	120	—	2	4	5	—	—
	150	—	2	3	4	—	—
	185	—	—	2	4	—	—

Notă. 1. Semnificaţia simbolurilor din capetele tabelului este: d, d_1 — diametrul interior exterior; γ — masa specifică

2. Tuburile IPY sînt alb-gălbui pînă la cafeniu iar IPEY, vernil. Lungimea de livrare, 3 m. Ţevile PVC-U sînt negre. Lungimea de livrare, 4 ÷ 12 m.

Accesoriile tuburilor de protecție sînt:

— manșoane sau mufe de legătură pentru înnădirea tuburilor (pentru tuburile etanșe se utilizează mufe filetate);

— coturi și curbe pentru schimbarea direcției;

— doze și cutii de ramificație; dozele se utilizează pentru tuburi IP (doze de aparat AIP și doze de ramificație rotunde RIPR 11 ... 23 sau patrate RIPP 29; 36), PEL (doze PEL 12,7 ... 55,8 cu 2, 3, 4 ieșiri care, la neutilizare, pot fi astupate cu dopuri PEL filetate) sau IPEY, în timp ce cutiile de ramificație se folosesc pentru țevi T sau țevi din PVC;

— mufe, tile și pipe;

— bride de prindere cu o ureche SIP9 ... 48 sau două urechi SDIP23 ... 48 (pentru tuburi IP).

În instalațiile fixe se utilizează și o serie de conducte electrice cu destinație specială și anume:

— conducte punte cu izolație și manta de PVC (FPYY, AFPYY și AFPYYS) montate îngropat, fără tub de protecție, în elementele de construcție sau în golurile elementelor de beton, în încăperi de categoria U_0, U_1, EE, C, D și E; conductele AFPYYS au două conductoare de aluminiu și un conductor de cupru, utilizîndu-se pentru alimentarea prizelor monofazice cu contact de protecție;

— conducte rezistente la intemperii, normale (AFYI) sau ignifugate (AF2YIR) utilizate în atmosferă corozivă;

— conducte de cupru cu izolație de cauciuc și împletitură textilă pentru corpuri de iluminat;

— conducte de cupru armate cu izolație PVC (FYYA).

c. *Conductele izolate pentru instalații mobile* asigură racordarea la sursele de alimentare a receptoarelor mobile (aparate electrocasnice, lămpi portative, mașini de găurit etc), fiind executate din conductoare de cupru cu izolație și manta de cauciuc (cordoane în manta de cauciuc, execuție ușoară

Tabelul 4.7

Intensitățile maxim admise I_{Cadm} ale curenților în regim permanent pentru cordoane cu conductoare de cupru, cu izolație și manta de cauciuc sau PVC, în execuție ușoară, medie sau grea, pentru instalații electrice mobile, montate în aer, la temperatura mediului ambiant +25°C

Secțiunea conductoarelor [mm²]	Intensitățile maxime admisibile ale curenților [A]		
	Numărul de conductoare ale cordonului		
	1	2	3
0,5	—	12	—
0,75	—	16	14
1	—	18	16
1,5	—	23	20
2,5	40	33	28
4	50	43	36
6	65	55	45
10	90	75	60
16	120	95	80
25	160	125	105
35	190	150	130
50	235	185	160
70	290	235	200

tip MCCU sau MCCUT; idem, execuţie mijlocie tip MCCM sau MCCMT; cabluri în manta de cauciuc execuţie grea tip MCCG sau MCCG-I; cordoane în manta de cauciuc special execuţie mijlocie tip MCCMIs, cabluri în manta de cauciuc special, execuţie grea tip MCCG-Is) sau de PVC (cordoane cu izolaţie de PVC, execuţie uşoară tip MYUp, MYYUp sau MYYU; idem, execuţie mijlocie tip MYYM; idem, execuţie grea tip MYYG; conducte foarte flexibile cu izolaţie de PVC tip MYff).

Intensităţile maxim admise ale curenţilor în regim permanent pentru conducte destinate instalaţiilor electrice mobile sînt date în tabelul 4.7.

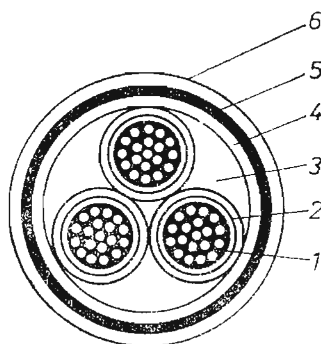


Fig. 4.14. Cablu ACYAbY: 1 — conductor; 2 — izolaţia conductorului; 3 — umplutură; 4 — manta; 5 — armătură din benzi de oţel; 6 — strat protector.

d. *Cablurile* sînt conducte electrice avînd următoarele elemente componente (fig. 4.14) [43];

— conductorul cablului (din aluminiu sau cupru) de formă rotundă, sector sau profil;

— izolaţia conductorului, realizată din hîrtie impregnată cu materiale izolante sau izolaţie sintetică (uscată) din materiale termoplastice (policlorură de vinil—PVC şi polietilena—PE) sau elastomeri (polietilena reticulată, policlorura de vinil reticulată, cauciucul siliconic etc);

— ecranul (aplicat numai în cazuri speciale) reprezintă un înveliş metalic (plumb, aluminiu) aplicat peste un conductor izolat sau peste un ansamblu de conductoare izolate cu scopul principal de a elimina sau atenua acţiunea cîmpurilor electrice sau magnetice străine asupra curentului electric ce trece prin cablu şi invers;

— învelişul cablului, format din ansamblul straturilor destinate realizării unei forme determinate a cablului şi asigurării protecţiei contra degradărilor exterioare; el cuprinde materialul de umplutură între conductoarele izolate, învelişul de etanşeizare (realizat din materiale sintetice sau metalice, asigură protecţia izolaţiei contra umezelii sau agenţilor corosivi), armătura (benzi metalice înfăşurate, împletitură de sîrmă sau sîrmă înfăşurată care asigură o protecţie mecanică suplimentară) şi învelişul exterior (realizat din materiale sintetice, asigură protecţia chimică şi mecanică a cablului).

Caracteristicile electrice ale cablurilor sînt tensiunea nominală şi curentul maxim admisibil de durată. Tensiunea nominală este tensiunea pentru care a fost proiectat cablul şi la care se referă caracteristicile sale de funcţionare şi încercare. Ea se exprimă prin ansamblul valorilor U_0/U, în care U_0 este tensiunea nominală (valoare efectivă) între un conductor şi învelişul metalic al cablului sau pămînt, iar U — tensiunea nominală (valoare efectivă) între două conductoare ale cablului ($U = U_0\sqrt{3}$ în curent alternativ trifazat; $U = 2U_0$ în c.a. monofazat sau în c.c.).

Curentul maxim admisibil de durată este sarcină maximă (la o anumită temperatură a mediului ambiant) pe care o pot suporta conductoarele cablului, fără a se depăşi temperatura maxim admisă de lucru, în regim de durată.

Din punct de vedere al rezistenţei la foc, cablurile pot fi :

— fără întîrziere la propagarea flăcării : cablul care nu îndeplineşte condiţiile menţionate mai jos ;

— cu întîrziere la propagarea flăcării : cablul care prezintă proprietatea că încercat individual la acţiunea flăcării, aceasta se stinge singură după un timp determinat şi la o lungime determinată de la locul aplicării flăcării ;

— cu întîrziere mărită la propagarea flăcării : cablul cu proprietatea că încercat în grup (pe trasee verticale sau orizontale) la acţiunea flăcării, aceasta se stinge singură după un timp determinat şi la o lungime determinată de locul aplicării flăcării ;

— rezistent la foc : cablul care continuă să funcţioneze normal în timpul şi după un foc prelungit, intensitatea focului fiind suficientă pentru a distruge materialul organic al cablului în zona în care se aplică flacăra.

După utilizare, cablurile pot fi :

— cabluri de energie (de forţă), utilizate în circuitele primare ale instalaţiilor electrice ;

— cabluri pentru comandă şi control (de circuite secundare sau de semnalizare), utilizate în instalaţiile de comandă, semnalizare, blocaj, reglaj, protecţie şi automatizare avînd tensiuni de serviciu sub 400 V (inclusiv cablurile pentru alimentarea unor receptoare ca : dispozitive de acţionare ale aparatelor primare ; vane, ventile şi clapete cu acţionare electrică ; încălzirea şi iluminatul local al cutiilor de cleme şi dulapurilor de relee, dacă puterea acestora nu depăşeşte 10 kW) ;

— cabluri pentru telemecanică (cablu—pilot), utilizate în instalaţiile de telesemnalizări, telemăsuri, telecomenzi şi teleprotecţie, avînd în general tensiuni de serviciu sub 60 V).

C a b l u r i l e d e e n e r g i e sînt foarte mult utilizate în realizarea instalaţiilor de alimentare şi distribuţie în joasă tensiune. Valorile intensităţilor maxim admise ale curenţilor în regim permanent pentru cîteva tipuri uzuale de cabluri sînt date în tabelul 4.8 ; pentru alte tipuri de cabluri se vor consulta lucrările [12, 24, 32].

În interiorul clădirilor, montarea cablurilor se poate face (fig. 4.15) :

— pe pereţi, sub planşee sau în subsolurile tehnologice ;

— în tunele sau în canale de cabluri din beton ;

— în blocuri de cabluri şi în tuburi sau ţevi de protecţie.

Susţinerea se realizează cu console sau suporturi din cornier, suporturi prefabricate (paturi de cabluri) prin asamblarea cărora se obţin stelaje şi rafturi de forma dorită (elemente Mecano sau Unitas produse de TIAB), scări verticale pe pereţi, jgheaburi metalice sau din alt material necombustibil, cabluri portante din funii de oţel etc.

Cablurile montate în exteriorul clădirilor se introduc în şanţuri săpate în pămînt şi se protejează prin cărămizi şi ţevi de oţel sau beton. În zonele cu densitate mare de reţele tehnologice subterane, se admite pozarea în aer liber a reţelelor de cabluri exterioare pe estacade, poduri suspendate sau tuburi de protecţie (cabluri nearmate).

Pentru montare se folosesc o serie de accesorii : scoabe, bride sau suporturi de susţinere şi fixare ; manşoane de legătură din fontă (ML—45 . . . 85) sau plumb (MP—45 . . . 85) şi manşoane de derivaţie (MD—50/40 . . . 90/80 şi MLD—60/50 . . . 90/80 din fontă) ; cutii terminale care asigură protecţia cablului contra umezelii sau poluării şi racordarea cablului la aparatura adiacentă — fabricate din fontă cenuşie moale sau din aliaj

Tabelul 4.8

Intensitățile maxim admise $I_{C_{adm}}$ ale curenților în regim permanent pentru cabluri de joasă tensiune (U_0/U = 0,6/1 kV) cu izolație și manta de PVC

Secțiunea conductoarelor [mm²]	Cabluri montate în pămînt, la temperatura mediului ambiant de +20 °C						Cabluri montate în aer, la temperatura mediului ambiant de +30°					
	Cupru, cu			Aluminiu, cu			Cupru, cu			Aluminiu, cu		
	1 conductor (în c.c.)	2 conductoare	3,4 conductoare	1 conductor (în c.c.)	2 conductoare	3,4 conductoare	1 conductor (în c.c.)	2 conductoare	3,4 conductoare	1 conductor (în c.c.)	2 conductoare	3,4 conductoare
1,5	37	30	27	—	—	—	26	21	18	—	—	—
2,5	50	41	36	—	—	—	35	29	25	—	—	—
4	65	53	46	52	42	36	46	38	34	36	30	27
6	83	66	58	68	52	45	58	48	44	46	38	34
10	110	88	77	86	69	60	80	66	60	63	52	47
16	140	115	100	113	90	78	105	90	80	82	70	63
25	190	150	130	150	115	100	140	120	105	110	94	82
35	235	180	155	180	140	120	175	150	130	135	115	100
50	280	210	185	215	165	145	215	180	160	165	140	125
70	350	260	230	270	200	175	270	230	200	210	180	155
95	420	315	275	325	245	215	335	275	245	260	215	190
120	480	360	315	375	275	245	390	320	285	300	250	210
150	540	400	355	420	315	275	445	375	325	350	290	250
185	620	460	400	480	355	310	510	430	370	400	335	285
240	720	530	465	560	415	360	620	510	435	480	395	340
300	820	590	520	640	465	410	710	590	500	550	460	390
400	960	680	600	740	540	470	850	710	600	660	550	460
500	1110	—	—	860	—	—	1000	—	—	780	—	—

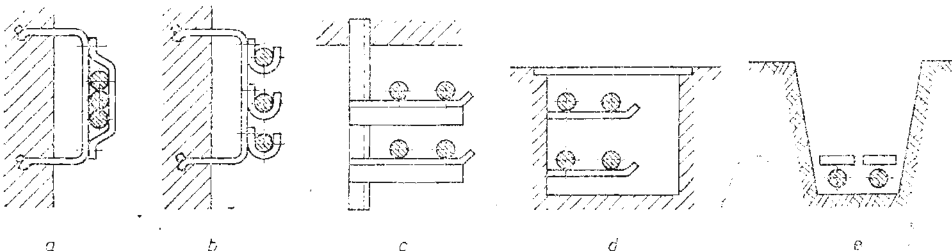


Fig. 4.15. Montarea cablurilor:

a, b — pe pereți cu console; *c* — pe stelaje metalice; *d* — în canale de beton; *e* — în șanțuri.

de aluminiu (tipurile ICI), tablă de oţel (tipurile CS la cabluri pentru comandă şi control) sau plumb (tipurile CTRJ), pentru interior sau exterior, la diferite secţiuni ale cablului; capete terminale servind pentru legarea şi protejarea capetelor de cabluri.

Reglementările în vigoare recomandă utilizarea cît mai redusă a cablurilor, iar în cazurile în care folosirea acestora este indispensabilă, se indică utilizarea cu precădere a cablurilor cu izolaţie şi manta din materiale plastice.

Cablurile pentru comandă şi control au un număr mare de conductoare (2 ... 61) din cupru de secţiune mică (0,75 ... 10 mm^2) şi se clasifică în cabluri de comandă (CCHP, CCHPI, CCHPAb, CCHPAbI, CCAfYY, CCAfYYAr) şi cabluri de semnalizare (CSYY, CSYAbY, CSHP, CSHPI etc).

Cablurile pentru telemecanică au un număr foarte mare de conductoare (2 ... 1224 perechi) din cupru de secţiune redusă (0,5 ... 0,9 mm^2). În instalaţiile de telemecanică se folosesc cabluri pentru telecomandă (TYY), cabluri de centrală (TCY, TCYY sau TCYP), radioficare (CR2YY) şi conducte ecranate (TYEY).

e. *Conductele cu destinaţie specială* se utilizează pentru alimentarea cu energie electrică a instalaţiilor de ascensoare, navale, miniere, de prospecţiuni şi exploatări petroliere etc. Aceste conducte necesită proprietăţi speciale impuse de condiţiile specifice de funcţionare şi sînt fabricate într-o gamă largă de tipuri şi dimensiuni.

4.5.2. APARATE ELECTRICE

În instalaţiile electrice de joasă tensiune se utilizează un mare număr de aparate electrice caracterizate prin performanţele atinse de caracteristicile lor tehnice şi prin funcţia pe care o îndeplinesc în schemele electrice. Principalele caracteristici tehnice sînt: tensiunea nominală U_n, curentul nominal I_n, tensiunea de comandă U_c a elementului (electromagnet sau motor) de acţionare, frecvenţa de conectare f_c, curentul (capacitatea) de rupere I_r, curentul (capacitatea) de închidere I_i, durata de rupere t_r, curentul limită termic I_{lt} (la un timp t_{lt}), curentul limită dinamic I_{ld}, caracteristica de protecţie (funcţionare) $I_{act} = f(t)$ şi gradul de protecţie faţă de mediul ambiant — tabelul 4.9 (protecţia este indicată prin simbolul IP urmat de trei cifre care pot lua valorile din prima coloană a tabelului).

Pentru definirea releelor şi declanşatoarelor, se indică curentul lor nominal I_n, curentul de serviciu I_s şi curentul reglat $I_r (I_r = k_r I_s)$.

Din punct de vedere al funcţiunilor pe care le îndeplinesc, se deosebesc următoarele categorii:

- aparate de conectare;
- aparate de protecţie;
- aparate de conectare şi protecţie;
- aparate pentru pornirea motoarelor electrice;
- aparate de semnalizare;
- aparate de măsură.

O prezentare completă a aparatelor electrice de joasă tensiune fabricate în ţară este dată în lucrarea [7].

Tabelul 4.9

Grade normale de protecție asigurate prin carcase

Cifra după simbolul IP	Prima cifră: protecția împotriva pătrunderii corpurilor străine și protecția persoanelor		A doua cifră: protecția contra pătrunderii apei	A treia cifră: protecția contra deteriorării mecanice		
				Masa berbecului [kg]	Înălțimea de cădere, [m]	Deplasarea orizontală [m]
0	Neprotejat		Neprotejat	—	—	—
1	Protejat contra pătrunderii corpurilor solide străine cu dimensiuni:	>50 mm	Protejat contra picăturilor verticale de apă	0,15	0,4	0,8
2		⩾12 mm	Protejat contra picăturilor de apă ce cad sub un unghi de max. 15° față de verticală	0,5		
3		⩾2,5 mm	Protejat contra apei căzînd ca ploaia	1,5		
4		⩾1 mm	Protejat contra stropirii cu apă	5		
5	Protejat contra pătrunderii prafului	parțial	Protejat contra jeturilor de apă	15		
6		total	Protejat contra condițiilor de pe puntea navelor			
7			Protejat contra imersării în apă			
8			Protejat contra imersării prelungite în apă			

Observații. *1.* A treia cifră se utilizează numai la aparatele electrice.
2. Dacă gradul normal de protecție se simbolizează printr-o singură cifră caracteristică, cifra (cifrele) omisă trebuie să fie înlocuită cu litera X.
3. În simbolul pentru gradul de protecție se pot introduce litere suplimentare care implică condiții de utilizare sau verificare speciale (ex. W — utilizare în condiții atmosferice specificate).

1. *Aparatele de conectare* servesc pentru stabilirea şi întreruperea manuală a circuitelor parcurse de curentul nominal, neputînd asigura deconectarea receptoarelor în caz de defect. Din această categorie fac parte:

— întreruptoare (monopolare, bipolare, duble) şi comutatoare (grup, serie, alternativ şi cruce) pentru instalaţii interioare de iluminat avînd curent nominal de maximum 10 A; pot fi rotative, cumpănă, basculante sau cu buton, pentru montaj aparent (*PT*) sau îngropat cu doză de aparat (*ST*), avînd format dreptunghiular (*D*) sau rotund (*R*). Pentru montaj în clădirile industriale aceste aparate sînt protejate în carcase metalice sau de bachelită;

— întreruptoare tripolare cu pîrghie (I_n = 25, 63, 100 A) şi manetă (I_n = 200, 350, 600, 1 000 A) pentru circuite de lumină şi forţă în curent continuu şi alternativ;

— întreruptoare şi comutatoare pachet (I_n = 10, 25, 63 A) utilizate pentru comanda maşinilor unelte şi pe tablourile instalaţiilor electrice;

— întreruptoare şi comutatoare cu came tip *C* (I_n = 16, 25, 40, 63 A) — tabelul 4.10;

— separatoare tripolare pentru interior (I_n = 200, 350, 600, 1 000 A);

— prize şi fişe bi- sau tripolar, pentru aparate electrocasnice (I_n = = 10 A), în execuţie normală sau protejate în carcasă metalică sau de bachelită, pentru montaj aparent (*T*) sau îngropat cu doză de aparat (*ST*);

— prize şi fişe tripolare pentru instalaţii industriale (I_n = 10, 16, 25, 32, 63 A), în carcasă metalică sau de bachelită. Prizele pot fi cu sau fără contact de protecţie;

— contactoare comandate prin electromagneţi, avînd capacitate de rupere redusă şi frecvenţă de conectare mare — tabelul 4.11 şi figura 4.16.

Tabelul 4.10

Comutatoare cu came fabricate în R. S. România

Tip	C.16				C.40	C.63
Cod	9760	9761	9762	9763	9782	9783
Curent nominal I_n[A]	16				40	63
Tensiune nominală U_n [V.c.a/c.c.]	500/440				500/—	
Curentul de conectare în c.a. I_{ca} [A/cos φ)]	18/0,4				60/0,7	95/0,7
Durata de acţionare *DA* [%]	100					
Frecvenţa de conectare f_c, [con/h]	30					
Număr etaje [n_e]	1—12	1—8	1—8	1—8	1—6	1—3
Număr poziţii [n_p]	2—6F	1F,1R	2F+1R	1F+2R	2—6F	2—6F
Acţionare	Prin buton sau mîner					

Observaţii.

Simboluri: F — ferm; R — cu revenire.

Tabelul 4.11

Principalele tipuri de contactoare fabricate în R. S. România

a) Seriile TCA, BC, MC

Tip	Cod	Caracteristici tehnice comune	Contacte principale: Curent nominal I_n[A]	Contacte principale: Frecvența de conectare f_c[con./h]	Contacte principale: Curent închidere I_i[A]	Contacte principale: Curent de rupere I_r[A]	Contacte auxiliare: NI/ND	Contacte auxiliare: Curent nominal [A]	Gabarit $l \times L \times (h+a)$ [mm]
TCA 6	4000	U_n = 500 Vc.a.	6	600	60	48	0/1	6	47 × 72 × (79 + 15)
	4001	U_c = 24 ; 48 ; 110 ; 220 ; 380 ;					2/2		47 × 72 × (98 + 15)
TCA 10	4005	500 V c.a.	10	600	110	88	0/1	6	47 × 72 × (79 + 15)
	4006						2/2		47 × 72 × (98 + 15)
TCA 32	4010	f = 50 Hz	32	600	320	256	2/2	6	83 × 96 × (119 + 20)
TCA 40	4015A	Protecția : IP000	40	600	400	320	2/2	6	103 × 102 × (116 + 25)
TCA 63	4020A		63	600	630	504	2/2	10	119 × 130 × (139 + 30)
TCA 125	4028		125	120	880	660	2/2	10	150 × 170 × (130 + 45)
TCA 200	4032		200	120	1 760	1 320	2/2	16	190 × 198 × (210 + 45)
TCA 250	4035		250	120	2 080	1 560	2/2	16	214 × 239 × (261 + 60)
TCA 400	4040		400	120	3 520	2 640	2/2	16	245 × 260 × (310 + 65)
TCAC 10	4007	U_n = 500 Vc.a.	10	600	60	48	0/1	6	44,5 × 71 × (93 + 15)
	4008	U_c = 24 ; 48 ; 60 ; 110 ; 220V.c.c.					2/2		44,5 × 71 × (111 + 15)
TCAC 32	4011	f = 50 Hz	32	600	320	256	2/2	6	83 × 111 × (141 + 20)
BC 60	3530	U_n = 220 Vc.c. U_e = 110 ; 220 Vc.c.	60	10	240	240	—	—	85 × 240 × (151 + 29)
MC 80	3540	U_n = 220 Vc.c.					—	—	
	3543	U_e = 48 ; 110 ; 220 Vc.c	80	120	320	320	1/1		176 × 240 × (157 + 29)
	3546						1/1	8	
MC 100	3550	U_n = 750 Vc.c. U_e = 24 ; 48 ; 110 ; 220 ; 440 Vc.c.	100	600	400	400	2/2	8	80 × 400 × (175 + 32)
MC 150	3560	U_n = 220 Vc.c.							
	3563	U_c = 48 ; 110 ; 220 Vc.c.	150	120	600	600	1/1	8	80 × 400 × (175 + 32)
	3565						2/2		

b) Seria AR

Tabelul 4.11 (continuare)

Tip	Cod	Caracteristici tehnice comune	Curent nominal I_n [A]	Contacte auxiliare NI/ND	Gabarit $l \times L \times h$ [mm]	Puterea bobinei P_b [W]
AR 6	8100	U_n = 500 V c.a. f = 50 Hz	6	0/1	47,5 × 50 × 75	9
				0/1	47 × 72 × 79	17
	8101			2/3	47,5 × 50 × 90	9
				2/2	47 × 72 × 98	17
AR 10	8105		10	0/1	47,5 × 50 × 75	9
				0/1	47 × 72 × 79	17
	8106			2/3	47,5 × 50 × 90	9
				2/2	47 × 72 × 98	17
AR 16	8107		16	2/3	55 × 55 × 100	10
			32	2/2	83 × 96 × 119	18
AR 25	8108		25	2/3	60 × 60 × 100	12
			32	2/2	83 × 96 × 119	18
AR 40	8109		40	2/2	75 × 75 × 115	16
					83 × 96 × 119	18
AR 63	8110		63	2/2	80 × 80 × 120	20
					103 × 102 × 116	25
AR 100	8111		100	2/2	103 × 105 × 160	45
			125	2/2	150 × 170 × 180	100
AR 160	8112		160	2/2	140 × 150 × 175	85
			200	2/2	190 × 198 × 210	115
AR 250	8113		250	2/2	150 × 195 × 200	120
					214 × 239 × 261	235
AR 400	8114		400	2/2	190 × 220 × 240	140
					245 × 260 × 310	200

Notă. 1. Semnificația simbolurilor: *NI/ND* — normal închis/normal deschis; *L* — lungime; *l* — lățime; *h* — înălțime; *a* — cursă deschidere (lungimea șuruburilor de fixare la contactoarele de c.c.).
2. Curenții de închidere și rupere pentru contactele principale sînt dați pentru 20 de cicluri.

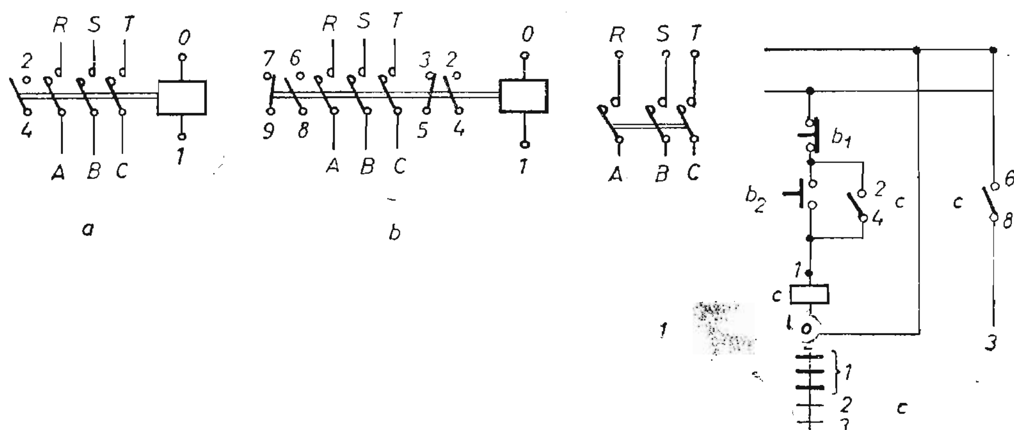


Fig. 4.16. Schema electrică şi marcarea bornelor pentru contactoare comandate prin electromagneţi :

a — cu un contact auxiliar ; *b* — cu patru contacte auxiliare ; *c* — reprezentarea în scheme desfăşurate.

2. *Aparatele de protecţie* realizează protecţia receptoarelor sau a reţelelor electrice împotriva scurtcircuitelor, a suprasarcinilor şi a lipsei sau scăderii tensiunii de alimentare. Ele se împart în următoarele categorii :

— siguranţe fuzibile ;
— contactoare cu relee ;
— întreruptoare automate.

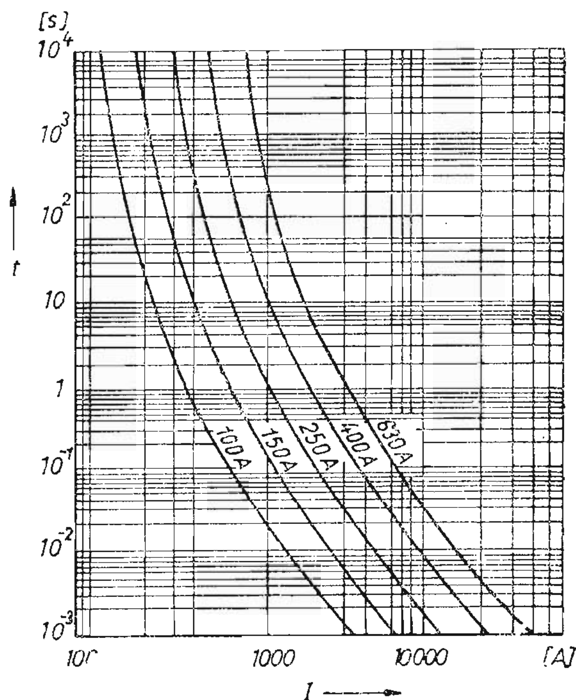


Fig. 4.17. Caracteristica de protecţie a siguranţelor MPR.

Tabelul 4.12

Caracteristicile tehnice ale siguranțelor fuzibile de joasă tensiune

Tip		Tensiunea nominală U_n [V]	Curenți nominali I_n [A]			Caracteristica de protecție (t_a, s)		Curent de rupere I_r [kA]	Culoare semnalizare fuzibil	Observații
			Soclu	Capac	Patron fuzibil	la 1,75 I_n cel puțin	la 7 I_n cel mult			
cu filet E16	LF,LFi LS,LSf	660(500) V c.a. 220 V.c.c.	25	25	0,5...25	—	—	0,35		I_{nf} = 0,5; 2; 4; 6; 10; 16; 20; 25
cu filet tip D	LF,LFi	660 V.c.a. 220 V.c.c.	25 (DII)	25	2 4 6 10 16 20 25	10	0,05 0,1 0,15	1,6	roz brun verde roșu gri bleu galben	— Siguranțele tip LF și LS se fabrică pt. mărimile DII... DVH, iar tipurile LFi și LFiT numai pt. mărimile DII și DIII; — Grad protecție IP200 pt. LS și LF, IP000 pt. LFi.
			63 (DIII)	63	35 50 63		0,2	4	negru alb arămiu	
			100 (DIVH)	100	80 100		0,35	8	argintiu roșu	
			200 (DVH)	200	125 160 200	—	—	—	galben arămiu bleu	
cu mare putere de rupere	MPR	660 V.c.a. 440 V.c.c.	100 315 630 1000	— — — — — —	80; 100 125; 160 200; 250 400 630 1000	Conform fig. 4.17.		50		

Notă. Semnificația simbolurilor: L — legături; F — față; S — spate; i — tip industrial; T — pentru tablouri capsulate; f — cu flanșe; t_a — timp de acționare.

Tabelul 4.13

Caracteristicile tehnice ale blocurilor de relee termice fabricate în R. S. România

Tip	Cod	Caracteristici tehnice comune	Tensiune nominală, U_n [V]	Curent nominal, I_n [A]	Curent serviciu, I_s [A]	Curent limită termic, I_{lt} [A]	Gabarit, [mm]
TSA 10	3670	U_n = 500 Vc.a. f_c = 15 con./h I_r = 1; 2; 3 A la 500; 380; 220 V c.a. 0,15 A la 220 V c.c. Protecție: IP000	500	10	0,4; 0,55; 0,75; 1; 1,3; 1,8; 2,4; 3,3; 4,5; 6; 8; 11	100	56,5 × 54 × 74
TSA 32	3672		500	32	0,4; 0,55; 0,75; 1; 1,3; 1,8; 2,4; 3,3; 4,5; 6; 8; 10; 15; 20; 25; 32	320	68,5 × 54 × 83
TSA 63	3674		500	63	40; 63	630	96 × 64,5 × 100
TSA W 400	3678		500	400	80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400	6 000	190 × 130 × 155

Observații. *1.* Semnificația simbolurilor: f_c — frecvența de conectare; I_r — curentul de rupere

2. Curentul reglat al releului se determină cu relația:

$I_{rt} = (0,6...1)k_{t°} \cdot I_s$,

în care $k_{t°}$ este un coeficient de corecție funcție de temperatură avînd valorile date în tabelul 4.14.

a) *Siguranțele fuzibile* au rolul de a întrerupe circuitul în care sînt instalate prin fuziunea unuia sau a mai multor elemente concepute și calibrate în acest scop, cînd curentul care le parcurge depășește o anumită valoare pe o anumită durată; această dependență este indicată prin caracteristica de protecție (topire) $I_{act} = f(t)$ — tab. 4.13. Practic, siguranțele fuzibile asigură protecția împotriva curenților de scurtcircuit de valori mari.

Din punct de vedere constructiv și al capacității de rupere se deosebesc:

— siguranța cu filet E16 (mignon), avînd capacitate mică de rupere ($I_r = 350$ A);

— siguranțe cu filet tip D, avînd capacitate medie de rupere ($I_r = 1{,}6 \ldots 8$ kA);

— siguranțe cu mare capacitate de rupere ($I_r = 50$ kA).

Siguranțele cu filet sînt executate din porțelan și se compun din soclu, capac filetat (portfuzibil), element de înlocuire (patron fuzibil) și element de calibrare. Tipurile cu filet E16 sînt destinate protecției instalațiilor de automatizare sau similare, iar siguranțele tip D utilizărilor casnice și de uz general (LF, LS) sau industrial (LFi, LFiT).

Siguranțele cu mare putere de rupere (MPR) se compun dintr-un soclu cu două furci de contact, un element de înlocuire cu cuțite și un mîner de manevrare (pentru schimbarea elementului de înlocuire).

Patroanele fuzibile pentru siguranțele de joasă tensiune pot fi cu acțiune lentă (cu întîrziere), rapidă (normale) sau ultrarapidă, ultimele utilizîndu-se la protecția dispozitivelor semiconductoare.

b) *Releele termice tripolare* asigură protecția la suprasarcină a receptoarelor electrice. Ele sînt constituite din lamele bimetalice care, dilatîndu-se diferit în urma încălzirii produse de trecerea unui curent (prin ele sau prin înfășurarea care le înconjoară), se încovoaie și deschid un contact electric din cuprinsul lor.

În R.S. România se produc relee termice (lente și rapide) avînd caracteristicile tehnice și de protecție date în tabelele 4.13 și 4.14 și figura 4.18.

Tabelul 4.14

Coeficientul de corecție k_{t° funcție de temperatură pentru curentul de serviciu al releelor termice tip TSA

Temperatura mediului, °C	−20	−10	0	+10	+35	+40	+45	+50
Coeficientul de corecție k_{t°	0,87	0,9	0,93	0,96	1,07	1,1	1,13	1,15

3. *Aparatele de conectare și protecție* realizează stabilirea manuală a circuitelor parcurse de curentul nominal și întreruperea normală sau în caz de defect a acestora, asigurînd deci și protecția receptoarelor în caz de defect. Din această categorie de aparate fac parte contactoarele cu relee și întreruptoarele automate.

a. *Contactoarele cu relee termice* sînt destinate protecției împotriva suprasarcinilor și a lipsei sau scăderii tensiunii de alimentare. Ele constau dintr-un

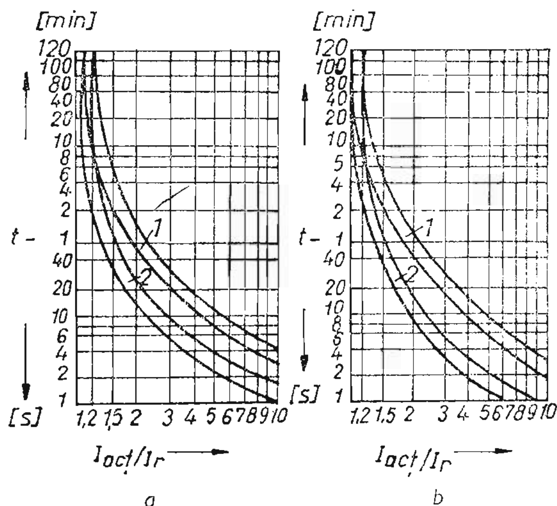


Fig. 4.18. Caracteristica de protecție a releelor termice:

a — pentru relee de 10 A și 32 A ($I_s \leq 11{,}2$ A); *b* — pentru relee de 32 A ($I_s > 11$ A) și 63A; *1* — din stare rece; *2* — din stare caldă.

contactor și un bloc de relee termice tripolare introduse în carcase metalice sau din material izolant, avînd caracteristicile indicate în tabelul 4.15. Deoarece contactoarele cu relee nu au capacitate de rupere suficientă, protecția la scurtcircuit se realizează cu siguranțe fuzibile legate în serie în amonte (fig. 4.19).

Protecția la tensiune minimă (lipsă de tensiune) este asigurată de electromagnetul de acționare al contactorului, care nu mai reține armătura mobilă dacă tensiunea de alimentare scade sub 0,7 U_n.

b. *Întrerupătoarele automate* asigură protecția împotriva suprasarcinilor, a curenților de scurtcircuit de valori medii și a lipsei sau scăderii tensiunii de alimentare.

Protecția la suprasarcini este asigurată în majoritatea cazurilor prin declanșatoare termice *DT* constituite din lamele bimetalice, care însă nu acționează în final asupra unui contact electric din cuprinsul lor, ca în cazul

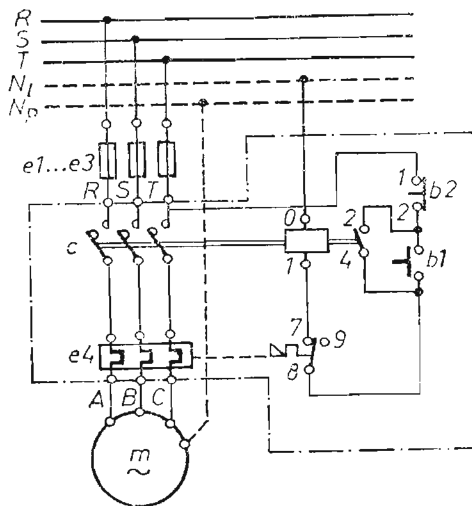


Fig. 4.19. Conectarea la rețea a unui motor electric printr-un contactor cu relee termice:

e1, ..., e3 — siguranțe fuzibile; *c* — contactor; *e4* — bloc de relee termice; *m* — motor trifazat; *b1* — buton de pornire; *b2* — buton de oprire.

Tabelul 4.15

Caracteristicile tehnice ale contactoarelor în aer, cu relee termice, fabricate în R. S. România

Cod	Caracteristici tehnice comune	Tipul protecției	Curenți de serviciu ai releelor termice, I_s [A]	Contacte principale			Contacte auxiliare		Gabarit, $L \times l \times h$ [mm]
				Curent nominal, I_n [A]	Curent închidere, I_i [A]	Curent de rupere, I_r [A]	NI/ND	Curent nominal, I_n [A]	
3207	$U_n = 500$ Vc.a. $U_c = 24$; 48; 120; 220; 380; 500 V c.a. $f = 50$ Hz $f = 30$ con/h	IP441	0,4; 0,55; 0,75; 1; 1,3; 1,8; 2,4; 3,3; 4,5; 6; 8; 11.	10	100	80	—	—	80 × 92 × 152
3217A		IP441	15; 20; 25	25	220	176	1/2	6	136 × 137 × 210
3218D		IP441	31,5; 40;	40	370	320	1/2	6	170 × 192 × 263
3226A		IP331	40; 63	63	600	480	1/2	6	280 × 190 × 280
3235		IP443	100	100	640	480	1/2	6	350 × 282 × 520
3243		IP223	100; 160; 200	200	1 600	1 200	1/2	6	398 × 520 × 1 028

Notă. 1. Semnificație simboluri: L — lungime; l — lățime; h — înălțime.
2. Curenții de închidere și rupere pentru contactele principale sînt dați pentru 20 cicluri.

releelor termice, ci dau direct un impuls mecanic mecanismului de declanşare al întreruptorului automat.

Protecţia la scurtcircuit este asigurată de relee sau declanşatoare electromagnetice *DE* cu acţiune instantanee sau temporizată.

Protecţia contra scăderii sau lipsei tensiunii de alimentare se face cu relee sau declanşatoare de minimă tensiune DT_m cu acţiune temporizată.

Întreruptoarele automate de tip USOL se utilizează pentru conectarea şi protecţia motoarelor electrice şi a liniilor de joasă tensiune. Aceste aparate se execută cu acţionare manuală, cu motor electric de acţionare de la distanţă (întreruptoarele de 100, 250 şi 500 A) sau cu electromagnet de acţionare (întreruptorul de 800 A). Schema electrică a unui motor asincron conectat prin întreruptor USOL este prezentată în figura 4.20.

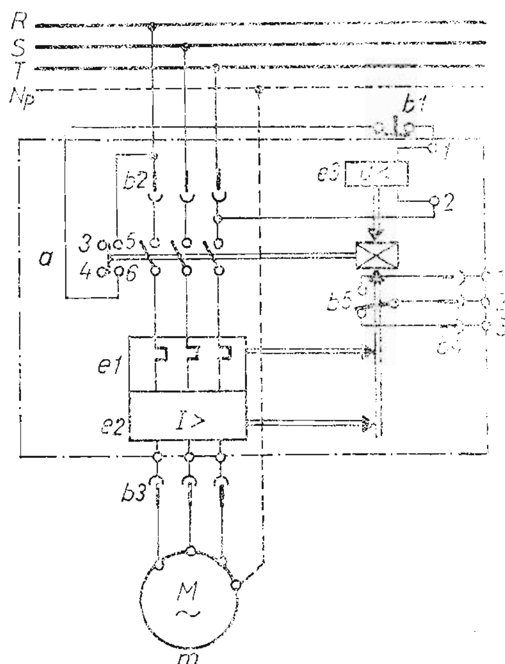


Fig. 4.20. Conectarea la reţea a unui motor electric printr-un întreruptor tip USOL:

a — întreruptor automat; *e1* — bloc declanşatoare termice; *e2* — bloc declanşatoare electromagnetice; *e3* — declanşator de tensiune minimă; *b1* — buton de control a funcţionării *e3*; *b2*, *b3*, *b4* — prize cu fişe; *b5* — contact de semnalizare „deschis prin declanşare".

Caracteristicile tehnice ale întreruptoarelor automate USOL sînt date în tabelul 4.16, iar caracteristica de protecţie pentru întreruptorul USOL 100 — în figura 4.21.

Protecţia la suprasarcină şi scurtcircuit se realizează cu declanşatoare termice şi electromagnetice ale căror limite de reglaj sînt prezentate în tabelul 4.17, iar protecţia contra scăderii tensiunii — cu declanşatoare de minimă tensiune cu dispozitiv de temporizare de tip RC tranzistorizat, cu reglaj de 0,2; 0,5; 1 şi 1,5 s. Acest declanşator se livrează separat la cerere, putînd fi înlocuit cu un declanşator de deschidere *DD* cu comandă de la distanţă.

Întreruptoarele automate de tip OROMAX sînt destinate conectării şi protecţiei liniilor, a motoarelor mari, a generatoarelor şi transformatoarelor. Ele se caracterizează prin capacitate mare de închidere şi rupere, variante multiple de execuţie şi posibilitate de utilizare în protecţia selectivă a reţelelor. Comanda de închidere — deschidere se face prin intermediul electromagneţilor de comandă s_1 şi s_2.

Caracteristicile tehnice ale întreruptoarelor automate OROMAX sînt date în tabelul 4.18. Protecţia la suprasarcină şi scurtcircuit se realizează cu acelaşi declanşator, fabricat în două variante — (tab. 4.19, fig. 4.22):

— declanşatorul tip H cu acţiune temporizată la suprasarcină şi instantanee la scurtcircuit;

— declanşatorul tip Ksi cu caracteristica de protecţie în trei trepte, primele două fiind cu temporizare, iar a treia — instantanee.

Tabelul 4.16

Caracteristicile tehnice ale întreruptoarelor tip USOL

Tip / Caracteristici tehnice	USOL 100								USOL 250			USOL 500		USOL 800	
	c.a.				c.c.				c.a.	c.c.		c.a.	c.c.	c.a.	c.c.
Caracteristici tehnice comune	U_n = 500 Vc.a sau 220 Vc.c; U_s = 110, 127; 220; 380; 500 Vc.a sau 24; 48; 110; 220 Vc.c; f_c = 30 con/h														
Curenții de serviciu ai declanșatoarelor termice I_s [A]	2,5; 3,2; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80;								60; 100; 160; 200; 250			200; 250; 315; 400; 500		400; 500; 580; 700; 800	
Curentul reglat al declanșatorului termic I_{rt} (la 45 °C)	$(0,8 \div 1)I_s$								$(0,8 \div 1)I_s$			$(0,8 \div 1)I_s$		$(0,8 \div 1)I_s$	
Capacitatea de închidere și rupere la 3 manevre: Curentul de serviciu I_s [A]	2,5–12,5	16–20	25	32–100	2,5–12,5	16–20	25	32–100	250	100	250	500	500	800	800
Capacitatea de închidere și rupere la 3 manevre: Curent de închidere I_i [kA]	5	7	8,5	14	5	10	10	12	20	20	20	42(32)	42	53	53
Capacitatea de închidere și rupere la 3 manevre: Curent de rupere I_r [kA]	3/4	4/7	5/7	8/9	5	10	10	10	10	12	15	20(16)	25	25	25
Capacitatea de închidere și rupere la 3 manevre: Durata de rupere t_r [ms]	10								10 ÷ 15			10 ÷ 15		25	
Limitele de reglaj ale declanșatoarelor electromagnetice I_{re} [A]	fixe $10I_s$				fixe $10\ I_s$				fixe $10\ I_s$ $4I_s$	fixe $4I_s$		Reglabile $(2 \div 4)I_s$ $(5 \div 10)I_s$	Reglabile $(2 \div 4)I_s$	Reglabile $(2 \div 4)I_s$ $(5 \div 10)I_s$	Reglabile $(2 \div 4)I_s$
Curentul limită termic I_{lt} [kA] la t_{lt} = 1 s;	1								2,5			5		8	
Curent limită dinamic I_{ld}, [kA]	5(2,5 – 12,5 A), 7(16 – 20 A); 8,5(25 A), 14(32 – 100 A)								20			42		53	
Contacte auxiliare NI/ND	1/1								1/1			2/2		4/4	

Notă. U_s este tensiunea de serviciu a bobinelor de tensiune nulă și declanșare.
Declanșatoarele electromagnetice reglabile între $(2 \div 4)I_s$ și $4I_s$ sînt pentru protecția liniilor, iar între $(5 \div 10)I_s$ pentru protecția motoarelor în curent alternativ.

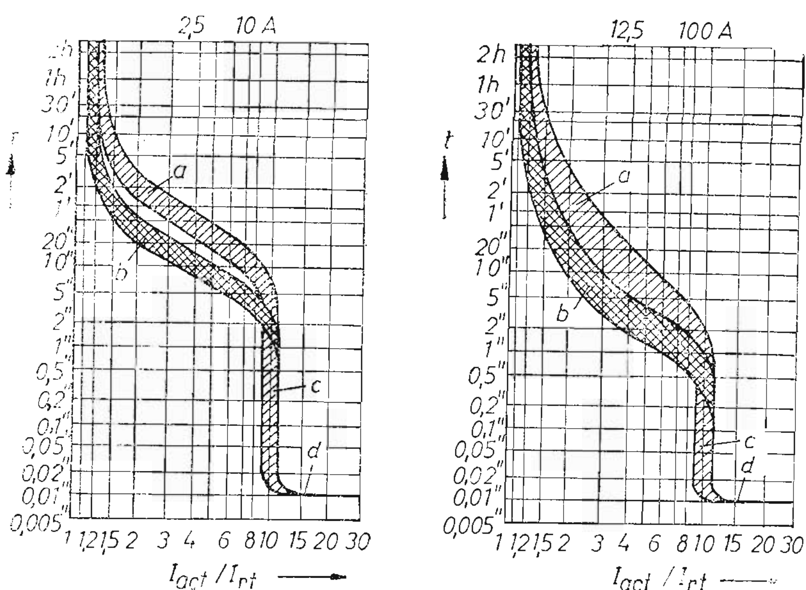


Fig. 4.21. Caracteristicile de protecţie ale declanşatoarelor întreruptoarelor automate USOL 100 pentru curenţi de serviciu de 2,5—10 A, respectiv 12,5—100 A:

a — funcţionare din stare rece a declanşatoarelor termice; *b* — funcţionare din stare caldă a declanşatoarelor termice; *c* — declanşare la 10*I* prin declanşatoare electromagnetice; *d* — declanşare la scurtcircuit.

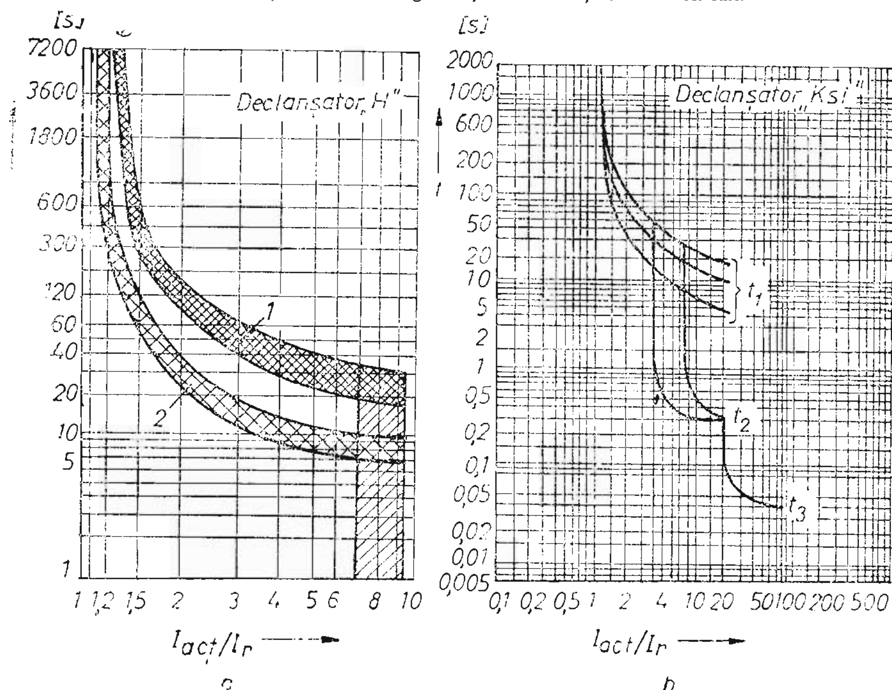


Fig. 4.22. Caracteristicile de protecţie ale declanşatoarelor la întreruptoarele OROMAX:

a — declanşator H; *b* — declanşator Ksi; *1* — din stare rece; *2* — din stare caldă; t_1 — temporizare lungă (10 ... ... 30 s); t_2 — temporizare scurtă (0,3s); t_3 — instantaneu.

Tabelul 4.17

a)

Limite de reglaj ale declanşatoarelor la întreruptoarele tip USOL

	Tipul declanşatoarelor termice	Limite de reglaj ale declanşatoarelor termice în funcţie de temperatura ambiantă I_{rt}[A]														Declanşatoare electromagnetice
		10 °C		20 °C		30 °C		40 °C		45 °C		50 °C		60 °C		
		min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	I_{re}[A]
USOL 100	R2,5	2,7	3,2	2,5	3	2,2	2,7	2,1	2,6	2	2,5	1,9	2,4	1,5	2	25
	R3,2	3,2	4,3	3	4	2,7	3,5	2,6	3,4	2,5	3,2	2,4	3	2	2,6	32
	R4	4,3	5,4	4	5	3,5	4,5	3,4	4,2	3,2	4	3	3,5	2,6	3,3	40
	R5	5,4	6,4	5	6	4,5	5,5	4,2	5,2	4	5	3,5	4,5	3,3	4,2	50
	R6,3	6,4	7,9	6	7,5	5,5	7	5,2	6,5	5	6,3	4,5	6	4,2	5,5	65
	R8	7,9	10,1	7,5	9,5	7	9	6,5	8,5	6,3	8	6	7,5	5,5	6,5	80
	R10	10,1	13,4	9,5	12,5	9	11,5	8,5	10,5	8	10	7,5	9,5	6,5	8,5	100
	R12,5	13,4	16,6	12,5	15,5	11,5	14	10,5	13	10	12,5	9,5	12	8,5	11	125
	R16	16,6	20,3	15,5	19	14	18	13	17	12,5	16	12	15	11	13	160
	R20	20,3	26	19	24	18	22	17	21	16	20	15	19	13	17	200
	R25	26	30,5	24	29	22	28	21	26	20	25	19	24	17	21	250
	R32	30,5	39	29	37	28	35	26	33	25	32	24	31	21	27	320
	R40	39	47	37	45	35	43	33	41	32	40	31	39	27	35	400
	R50	47	57	45	55	43	53	41	51	40	50	39	49	35	45	500
	R63	47	75	55	72	53	69	51	66	50	63	49	61	45	58	630
	R80	75	94	72	90	69	86	66	83	63	80	61	78	58	72	800
	R100	94	118	90	113	86	108	83	103	80	100	78	97	72	92	1 000

b)

USOL 250	Tipul declanşatoarelor termice	Domeniul de reglaj al declanşatoarelor termice în funcţie de temperatura ambiantă				Declanşatoare electromagnetice	
		I_{rt} [A]				I_{re} [A]	
		20°		45°			
		min.	max.	min.	max.	c.a.	c.c.
	R100	100	125	80	100	1 000	500
	R125	125	160	100	125	1 250	500
	R160	160	200	125	160	1 600	640
	R200	200	250	160	200	2 000	800
	R250	250	300	200	250	2 500	1 000

c)

USOL 500	Tipul declanşatorului termic	Domeniul de reglaj al declanşatoarelor termice, în funcţie de temperatura ambiantă				Declanşatoare electromagnetice			
		I_{rt} [A]				I_{re} [A]			
		20°C		45°C		Curent alternativ		Curent continuu	
		min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
	R100	95	120	80	100	500	1 000	400	800
	R125	120	145	100	125	625	1 250	400	800
	R160	145	185	125	160	800	1 600	400	800
	R200	185	225	160	200	1 000	2 000	400	800
	R250	250	280	200	250	1 250	2 500	500	1 000
	R320	280	370	250	320	1 600	3 200	640	1 280
	R400	370	470	320	400	2 000	4 000	800	1 600
	R500	470	580	400	500	2 500	5 000	1 000	2 000

d)

USOL 800	Tipul declanşatorului termic	Domeniul de reglaj al declanşatoarelor termice în funcţie de temperatura ambiantă.				Declanşatoare electromagnetice	
		I_{rt} [A]				I_{re} [A]	
		20°C		45°C		Curent alternativ	Curent continuu
		min.	max.	min.	max.	min.-max.	max.
	R400	370	465	320	400	2000—4000	800—1600
	R500	465	580	400	500	2500—5000	1000—2000
	R580	580	680	500	580	2900—5800	1160—2320
	R700	680	830	580	700	3500—7000	1400—2800
	R800	830	950	700	800	4000—8000	1600—3200

Tabelul 4.18

Caracteristicile tehnice ale întreruptoarelor tip OROMAX

Caracteristici tehnice \ Tip		1 000 A	1 600 A	2 000 A	2 500 A	4 000 A
Tensiune nominală U_n[V]		500				
Curent nominal I_n[A]		1 000	1 600	2 000	2 500	4 000
Tensiuni de serviciu U_s[V]	Motor	220 c.a. sau c.c.				
	Electromagnet închidere *EI*	110 ; 127 ; 220 ; 380 Vc.a. 24 ; 48 ; 60 ; 110 ; 220 Vc.c.				
	Electromagnet deschidere *ED*					
	Declanşator de tensiune minimă DT_m	110 ; 127 ; 220 ; 380 ; 500 c.a.				
Frecvenţa de conectare f_c [con/h]		30				
Capacitatea de închidere şi rupere la 3 manevre	Curent de închidere I_i[kA]	125	125	130	130	135
	Curent de rupere I_r[kA]	50	50	52	52	55
	Durata de rupere t_r	conf. fig. 4.22 şi tab. 4.19				
Curent limită dinamic I_{ld}[kA]		125	125	130	130	135
Curent limită termic I_{lt}, la t_{lt} = 1 s [kA]		55	55	57	47	60
Contacte auxiliare NI/ND		5/5				

Tabelul 4.19

Domeniul de reglaj al declanşatoarelor la întreruptoarele OROMAX

Tip		Declanşator *H*: Curentul de serviciu I_s[A]	Declanşator *H*: Domeniul de reglaj, I_{rt}	Declanşator *H*: Curentul de declanşare instantanee I_{rc}[A]	Declanşator K_{si}: Curentul de serviciu I_s[A]	Declanşator K_{si}: Domeniul de reglaj treapta *I*, I_{rt}	Declanşator K_{si}: Temporizare la 6 I_s [s]	Declanşator K_{si}: Domeniul de reglaj treapta *II*, I_{rc}	Declanşator K_{si}: Temporizare fixă [s]	Declanşator K_{si}: Curentul de declanşare instantanee [kA]
P_3C	1 000	300								
		600		8 I_s	600			$(4 \div 12)I_s$		
		1 000	$I_{rt} = (0{,}5 \div 1)I_s$		1 000	$I_{rt} = (0{,}5 \div 1)I_{st}$	$10 \div 30$		0,3	20
	1 600	1 600		7 I_s	1 600			$(4 \div 10)I_c$		
	2 000	2 000		6 I_s	2 000					
	2 500	2 500			2 500			$(3 \div 6)I_s$		
	4 000	4 000			4 000					

Fig. 4.23. Conectarea la rețea a unui motor electric printr-un întreruptor automat tip OROMAX:

a — întreruptor automat; *e*1 — bloc declanșatoare; *e*2 — declansator de tensiune minimă; *s*1 — electromagnet de închidere; *s*2 — electromagnet de deschidere; *b*1 — buton de control a funcționării *e*2; *b*2 — buton de pornire; *b*3 — buton de oprire; *b*4 — contact de semnalizare „deschis prin declanșare"; *b*5, *b*6 — prize cu fișe.

Schema electrică a alimentării unui motor asincron prin întreruptor automat tip OROMAX este prezentată în figura 4.23.

Utilizarea întreruptoarelor automate se evită pe cît posibil din cauză că ele prezintă următoarele neajunsuri:

— au un cost mare;

— conduc la secțiuni mari ale conductelor electrice;

— nu asigură selectivitatea la curenți de scurtcircuit.

c. *Întreruptoarele automate monopolare* se utilizează pentru protecția la suprasarcină și scurtcircuit a instalațiilor casnice și industriale cu curenți nominale sub 25 A (au acțiune similară cu siguranțele automate). Caracteristicile tehnice și de protecție ale întreruptoarelor automate monopolare produse în țară sînt date în tabelul 4.20 și figura 4.24.

Fig. 4.24. Construcția și caracteristicile de declanșare ale întreruptorului automat monopolar (hașurat — zona de declanșare a releelor electromagnetice)

Caracteristicile tehnice ale întreruptoarelor automate monopolare fabricate în R. S. România

Tip	Cod	Caracteristici tehnice comune	Curent de serviciu, I_s [A]	Gabarit, [mm]	Utilizare
L	3120	U_n = 380 V c.a. I_n = 25 A f_c = 30 con/h I_r = 1500 A Protecție : IP000	6; 10; 16; 25	25×98× 70,5	Iluminat
H	3120		10; 16; 25		Circuite de prize
SA—1(G)	3121		0,5; 1; 1,6; 2; 3; 4; 6; 10; 16; 25		Circuite industriale de comandă și forță (în afara electromotoarelor)

Întreruptoarele de curent continuu monopolare se utilizează pentru conectarea și protecția motoarelor electrice de curent continuu folosite în tracțiune. Se execută numai cu acționare manuală și sînt echipate cu relee electromagnetice care asigură protecția la suprasarcină și scurtcircuit. Caracteristicile tehnice ale acestor aparate sînt prezentate în tabelul 4.21.

4. *Aparatele pentru pornirea motoarelor electrice* asigură reducerea curentului de pornire al acestora. Se clasifică în următoarele categorii :

— comutatoare stea-triunghi CST, cu conectare manuală (U_n = 500 V, I_n = 32 și 63 A în aer sau I_n = 100 și 200 A în ulei) sau prin electromagnet (U_n = 380 V, I_n = 8 . . . 160 A) ;

— autotransformatoare de pornire normale tip ATP$_1$ (U_n = 0,22 . . . 0,5 kV ; S=85 sau 130 kVA), cu siguranță mărită (tip TPS, U_n=0,38. . .

Tabelul 4.21

Caracteristicile tehnice ale întreruptoarelor automate monopolare de curent continuu tip AV2

Caracteristici tehnice		Cod 5505	Cod 5506
Tensiune nominală U_n [V]		750	
Curent nominal I_n [A]		200	
Capacitate de închidere și rupere	Frecvența de conectare f_c, cicluri	3	50
	Curent de închidere I_i [A]	1 200	500
	Curent de rupere I_r [A]	1 200	500
Tipul de protecție		IP301	
Curentul de serviciu al releului electromagnetic I_s[A]		100	200

Observații. 1. Varianta de 100 A se reglează între 150 și 300 A.
2. Varianta de 200 A se reglează între 350 și 600 A.
3. Curentul minim de întrerupere este 10 A pentru 100 A și de 20 A pentru 200 A.

... 6 kV, $S = 320 \dots 2500$ kVA) sau cu comandă de la distanță — cu comutare automată (tip TPD, $U_n = 6$ kV, $S = 580 \dots 2500$ kVA);

— reostate de pornire pentru motoare de curent alternativ (în aer tip RA, în ulei tip RC, RA, EA, RPUm, RPUC, RPUD și în lichid tip RPLD, RRLCD, RRLUD) sau continuu (tip RP și RZP).

5. *Aparatele de semnalizare* au rolul de a indica acustic sau optic situațiile normale sau anormale de funcționare ale instalației supravegheate.

Releele de semnalizare sesizează apariția (tipul Rds—2) sau dispariția (tipul Rds—3) mărimii controlate, care poate fi tensiunea sau curentul continuu.

Lămpile de semnalizare, incluse în casete de semnalizare tip CST, se montează pe panouri și pupitre de comandă. Se execută în diverse variante constructive și utilizează lămpi cu filet Edison sau baionetă, alimentate la tensiunea rețelei (220 V) sau la tensiune redusă (24 V).

Hupele și sirenele de semnalizare se utilizează pentru semnalizarea acustică a diferitelor stări de avarii și se fabrică în mai multe tipuri constructive: hupe sau claxoane, sirene și clopote.

6. *Aparatele de măsură* și accesoriile folosite în instalațiile electrice de joasă tensiune sînt:

— ampermetre (AE) și voltmetre (VE) electromagnetice;

— comutatoare voltmetrice (CV);

— wattmetre (W) și varmetre (Var) ferodinamice (tip D3);

— contoare de energie activă (trifazate tip CA—32, CA—43; monofazate tip CAM—6) și reactivă (tip CR—32);

— transformatoare de curent CIRS și CIRT avînd curentul nominal primar $20 \div 6\,000$ A;

— transformatoare de tensiune tip TIRB, avînd tensiunea nominală primară $0{,}38 \div 1$ kV.

4.5.3. TABLOURI DE DISTRIBUȚIE

Tablourile de distribuție sînt părți componente ale instalațiilor electrice care servesc concomitent la primirea și apoi distribuția energiei electrice la diferiți consumatori. În componența lor intră materiale electrice care asigură funcțiile de izolare, legătură electrică și aparatele electrice prin care se realizează funcțiile de conectare, comandă, protecție, măsură și semnalizare. Această concentrare permite exploatarea în bune condiții a instalației respective, realizarea unor gabarite reduse și amplasarea centralizată a punctelor de alimentare.

Tablourile de distribuție sînt alcătuite din mai multe unități funcționale (după numărul și importanța consumatorilor din aval) care pot fi de:

— sosire, dacă servesc pentru primirea energiei electrice;

— plecare, dacă servesc pentru distribuția energiei electrice la receptoare sau alte tablouri;

— cuplă, dacă servesc la legătura electrică dintre secțiile de bare colectoare pe care le poate avea tabloul respectiv (obișnuit la curenți peste 200 A) sau la legarea în buclă a mai multor tablouri de distribuție.

Alegerea tablourilor de distribuție se face în funcție de tipul schemei electrice pe care o realizează, caracteristicile electrice (tensiune, curent, frecvență, regim de exploatare) și mecanice (protecție, încălzirea maxim

admisă, rezistență la scurtcircuit) precum și alte considerații generale (dimensiuni de gabarit și greutate, tip constructiv, aspect exterior, mod de instalare etc).

Protecția tablourilor de distribuție cuprinde totalitatea condițiilor necesare pentru a asigura protecția persoanelor contra atingerii părților interioare aflate sub tensiune și protecția echipamentului contra pătrunderii corpurilor străine sau apei (tab. 4.9), protecția contra acțiunii factorilor climatici (tab. 4.22) și protecția mediului înconjurător cu amestecuri explozive sau grizutoase contra aprinderii de la scînteile produse în interiorul tablourilor.

Tabelul 4.22

Tipurile și categoriile de protecție climatică

Factori climatici		Tipuri de protecție*				
		TF	THA	TH	TA	F
Temperatura aerului	maximă, °C	+55	+55	+45	+55	+35
	minimă, °C	−55	−10	+3	−10	−55
	medie, °C	+27	+27	+27	+27	+20
	variație în 8 h, °C	40	40	10	40	40
Umiditatea relativă	maximă, %/°C	80/35	80/35	80/35	80/20	80/20
	minimă, %/°C	10/40	10/40	25/40	10/40	15/30
Presiunea atmosferică	maximă, tor/°C	35/40	35/35	35/35	14/20	14/20
	minimă, tor/°C	5/50	5/40	14/40	5/40	5/30
Densitatea maximă a radiației solare, cal/cm² · min		1,6	1,6	1,4	1,6	1,6
Factori suplimentari**	Rouă	t	t	t	p	a
	Aer salin	p	p	p	p	a
	Praf, nisip	t	t	a	t	a
	Brumă, îngheț, chiciură	t	n	n	n	t
	Mucegaiuri, bacterii	t	t	t	a	n
	Insecte, animale mici	t	t	t	p	n
Categoriile de construcție pentru fiecare tip de protecție climatică, funcție de locul de amplasare		Categoria I în aer liber				
		Categoria a II-a în spații exterioare acoperite, gen șopron				
		Categoria a III-a în interior				

Notă. * Pentru simbolizarea tipului de protecție se folosesc literele: T — tropicus=cald, tropical; A — aridus=uscat; H — humidus=umed; F — frigidus=frig. Ca urmare semnificația simbolurilor tipurilor de protecție menționate în capul tabelului este: TF — protecția contra acțiunii factorilor climatici din zonele cald-umed, cald-uscat și rece; THA — idem din zonele cald-umed și cald-uscat; TA — idem din zone cald-uscat; F — idem din zone reci.

** Semnificația prescurtărilor: t — tot timpul, permanent; p — periodic; a — accidental; n — de neluat în seamă.

Din punct de vedere al rolului funcțional, tablourile de distribuție pot fi generale, principale și secundare, iar constructiv întîlnim tablouri deschise, închise, capsulate și antigrizutoase (antiexplozive). Caracteristicile tablourilor de distribuție fabricate în țară sînt date în lucrările [12, 23, 24].

1. *Tablourile de distribuție deschise* sînt fără protecție (IP 00) sau cel mult cu grad de protecție IP 10.

Din această categorie fac parte:

a. *Tablouri pe plăci izolante de marmură*, STALMAR, textolit sau pertinax, în execuție neprotejată.

b. *Tablouri pe plăci sau cadre metalice independente*, la care aparatele și materialele componente se montează pe suporturi plane din tablă de oțel ($g = 1 \ldots 3$ mm) sau pe structuri confecționate din profile laminate sau din tablă ambutisată. Din această categorie fac parte tablourile STELBLOC fabricate de TIAB, formate din cadre metalice pe care se fixează cu șuruburi plăcile echipate cu blocuri funcționale tipizate (tab. 4.23). În figura 4.25 se exemplifică realizarea unui tablou de distribuție cu elemente STELBLOC.

Tabelul 4.23

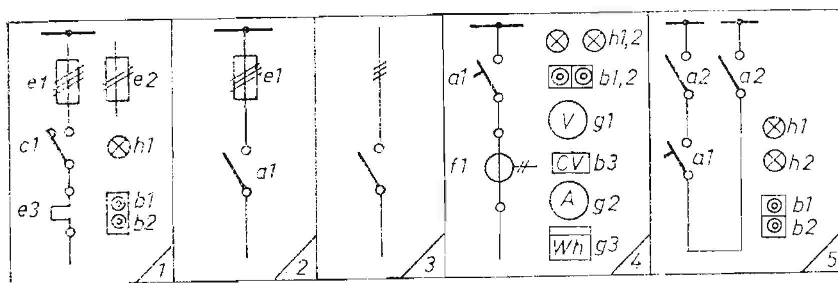
Tablouri de distribuție STELBLOC-TIAB

a)

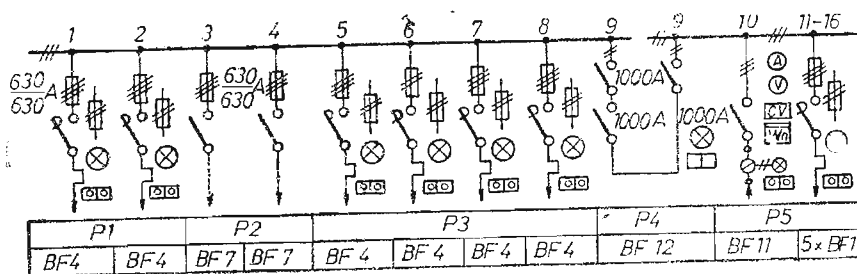
Stelaj	Tip	I		II		III		IV		V
	$a \times b$ mm	440 × 1980		640 × 1980		840 × 1980		1040 × 1980		1240 × 1980
Plăci funcționale	Tip	A	B	C	E	F	H	I	J	K
	$a \times b$ mm	200 × 250	400 × 500	400 × 750	600 × 500	600 × 750	1000 × 500	1000 × 750	1000 × 1000	1000 × 1000
Cutie bare $a \times b \times c$, mm		400 × 200 × 410		640 × 200 × 410		840 × 200 × 410		1040 × 200 × 410		1240 × 200 × 410

b)

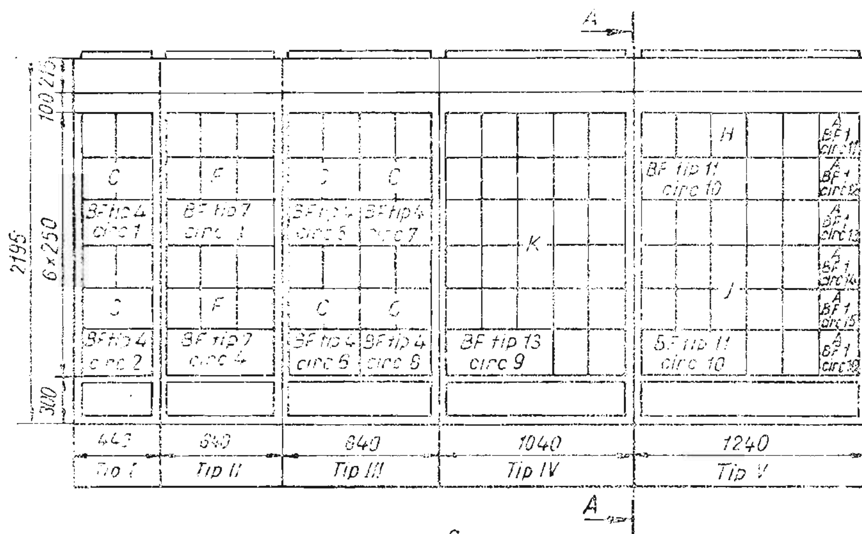
Tip Schemă Placă	Aparate electrice din compunerea unităților funcționale (se citește împreună cu fig. 4.25, *a*/1 ÷ 5).
1.1.A	e1 – LF25 + e2 – LFm25 + e3 – TSA10 + c1 – TCA10 + h1 – cod 6405 + b1, b2 – BF6
2.1.B	e1 – LF25 ÷ 63 sau LFi100 + e3 – TSA32 + c1 – TCA32 + rest – v. tip 1
3.1.C	e1 – MPR315 + e3 – TSA63 sau TSAw400 + c1 – TCA40 ÷ 125 + rest v.tip 1
4.1.C	e1 – MPR630 + e3 – TSAw400 + c1 – TCA125 ; 200 + rest v. tip 1
5.2.A	e1 – LF25 ; 63 + P3 – 25 ; 63
6.2.B	e1 – LFi100 + IP3 – 100
7.2.F	e1 – MPR315 + a1 – IP3 – 200 ; 350
8.2.F	e1 – MPR630 + a1 – IP3 – 600 ; 1000
9.3.E	a1 – IP3 – 350 ÷ 1 000
10.4. H + I	a1 – USOL 250 ÷ 800 + f1 – CI0,5 + g1 – 3E5 + g2 – E5 + b1, b2 – BF6 + h1, h2 – cod
11.4 H + J	a1 – O2OMAX – 1 000 + rest v. tip 10
12.5.J	a1 – USOL 500 ÷ 800 + a2 – IP3 – 350 + b1, b1, h1, h2 – v. tip 10
13.5.K	a1 – OROMAX 1 000 + a2 – PI3 – 600 ; 1 000 + rest – v. tip 12


e1
e2
c1
h1
e3
b1
b2
1
e1
a1
2
3
a1
h1,2
b1,2
V
g1
f1
CV
b3
A
g2
Wh
g3
4
a2
a2
a1
h1
h2
b1
b2
5

a


1
2
3
4
5
6
7
8
9
9
10
11-16
630/630 A
630/630 A
1000A
1000 A
1000A
A
V
CV
Wh
P1
P2
P3
P4
P5
BF4
BF4
BF 7
BF 7
BF 4
BF 4
BF 4
BF 4
BF 12
BF11
5×BF1

b


A
A
2195
6×250
100
300
C
F
C
C
BF tip 7
BF tip 13
circ 9
K
H
J
BF tip 11
circ 10
840
840
1040
1240
Tip II
Tip III
Tip IV
Tip V

c

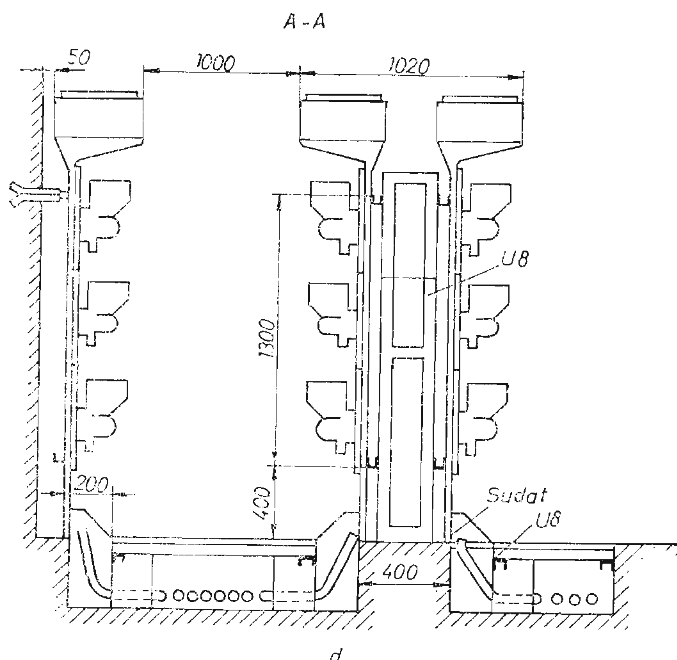


Fig. 4.25. Schema panourilor STELBLOC:
a — blocurile funcționale; *b* — exemplu de schemă pentru un *TGD*; *c*, *d* — construcție.

c. *Tablouri tip panou*, alcătuite din mai multe celule denumite panouri, fiecare fiind formată din șasiul pe care se fixează suporturile cu aparate, conductoare și o placă din tablă de oțel, pe partea din față, care susține aparatele de acționare, măsură și semnalizare.

Obișnuit, panourile nu au pereți (cu excepția plăcii frontale), ci cel mult ecrane de protecție din plasă sau tablă expandată; panourile de capăt sînt prevăzute însă cu fața laterală dinspre exteriorul tabloului asamblat. Accesul în tablou poate fi prin spate sau față, în funcție de spațiul disponibil.

Construcția și echiparea panourilor este în general tipizată și se realizează la I.I.S. Automatica București sau I.T.P.E. Alexandria (este tipizată numai construcția metalică, echiparea făcîndu-se după schemele date de beneficiar), Intreprinderea de construcții metalice și aparataje (ICMA) și TIAB București.

La TIAB s-a realizat un tip de panou prefabricat cu bare mediane (PREBARMED), la care barele generale de distribuție se află la mijlocul panourilor, obținîndu-se în acest fel dimensiuni reduse, la un număr sporit de circuite.

Panourile sînt realizate cu uși față rabatabile pe care se montează aparatele de măsură, iar în spate și între panouri cu pereți despărțitori din tablă expandată. Dimensiunile constructive și schemele tipizate ale panourilor PREBARMED sînt prezentate în [23, 24].

2. *Tablourile de distribuție închise* au gradele de protecție IP20, IP23, IP30 sau IP33 și se pot utiliza atît în încăperi anume destinate, cît și în spații de producție, cu condiția ca mediul respectiv să fie lipsit de agenți corozivi sau de pericol de explozie și să aibă temperatura de 15 ÷ 20°C, iar umiditatea relativă maximă de 65%.

Din această categorie fac parte:

a. *Tablouri pe plăci izolante închise în nișe, cutii, dulapuri sau pupitre*;

b. *Tablouri pe plăci sau cadre metalice închise în dulapuri sau nișe*;

c. *Blocuri electrice de apartament*, care sînt tablouri deschise pe suporturi de marmură, masă plastică termorigidă sau tablă, dar cu elementele de tablou protejate;

d. *Tablouri tip dulap*, realizate din una sau mai multe celule denumite dulapuri, destinate instalațiilor electrice de distribuție cu curenți nominali pînă la 1000 A. Astfel de tablouri se fabrică la I.I.S. Automatica (tab. 4.24),

Tabelul 4.24

Dulapuri metalice AUTOMATICA

Tip A [mm]	L [mm] Nr. variantă			
1	2			
D7	700	800	—	—
850	1	4	—	—
950	2	5	—	—
1 050	3	6	—	—
D8; 9	800	900	1 000	—
850	1	4	7	—
950	2	5	8	—
1 050	3	6	9	—
D21	450	600	800	900
500	—	6	11	15
600	1	7	12	16
800	3	—	14	18
900	4	—	—	19
1 000	5	—	—	—
D22	450	800	900	—
500	—	7	11	—
600	—	8	12	—
800	1	10	14	—
900	2	—	15	—
Exemplu de notare: D22-8				

Tip A, [mm]	L [mm] Nr. variantă		
1	2		
D21	800	900	1 000
600	—	47	52
800	45	49	54
900	46	50	55
1 000	—	51	56
D21	900	1 000	1 000
800	61	64	67
900	62	65	68
1 000	63	66	69
D21	800	900	1 000
900	77	80	83
1 200	78	81	84
D21	800	900	—
800	93	95	—
900	—	96	—
D22	600	800	900
500	21	25	29
600	22	26	30
800	—	28	32
900	—	—	33

Dulapuri metalice ICMA-București

Tip	Față	Suport izolator	Montaj	L [mm]	H [mm]	A [mm]
A	a, b	d, s	u, i, c	600; 700; 800; 900	1250; 1500; 1750; 1920	400; 600
B	a, b	d, s	u, i, c	600; 700 800; 900	1250; 1500 1750; 1920	400; 600
C	a, b	d, s	u, i, c	1200; 1400	1750; 1920	400; 600

Notă. *1.* Simbolizare: A — dulap cu o ușă; B — dulap cu două uși; pe verticală; C — idem pe orizontală: a — fără ștraif; b — cu ștraif; d — fără suport izolator; s — cu suport izolator; u — singular; i — intermediar; c — de capăt.
2. Pentru construcție — v. fig. 4.26, *b*. Se livrează cu soclu de 100 mm.

ICMA (tab. 4.25, fig. 4.26) și TIAB (dulapuri de joasă tensiune c.a. STANDARDBLOC în 6 variante, dulapuri de c.c. pentru 24 V — UNIDISCO-24 sau 220 V — UNIDISCO-240 și dulapuri pentru condensatoare UNIVAR în 3 variante);

e. *Tablouri debroșabile*, alcătuite din unul sau mai multe panouri modulate organizate pe sertare debroșabile; această soluție are avantajul unui gabarit redus, prezintă o siguranță mărită în exploatare și simplifică mult lucrările de montaj și exploatare. TIAB produce tablouri tip SERTAROBLOC formate din sertare de distribuție echipate cu contactoare, blocuri de relee termice și siguranțe fuzibile unipolare cu filet sau cu mare putere de rupere. Sertarele sînt prevăzute cu butoane de comandă, lămpi de semnalizare și siguranțe fuzibile tip mignon în circuitele de comandă. Fiecare panou are opt module; sosirile se echipează într-un compartiment tip *C* din patru module sau într-un panou întreg tip *D*, iar plecările —

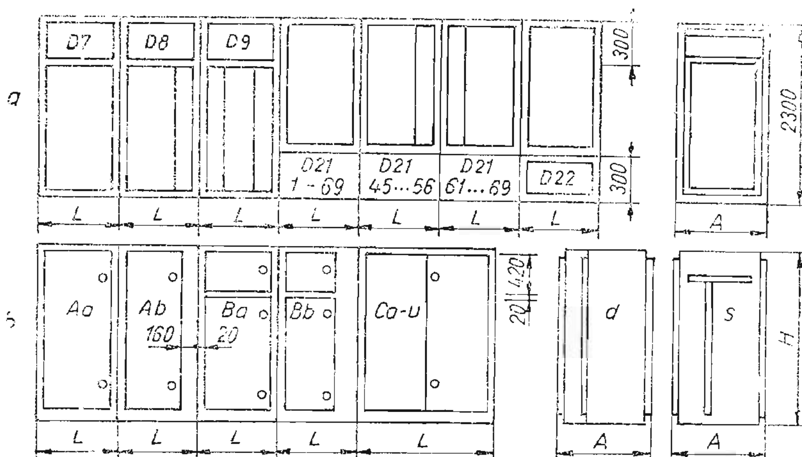


Fig. 4.26. Dulapuri metalice pentru tablouri electrice:
a — construcție AUTOMATICA; *b* — construcție ICMA.

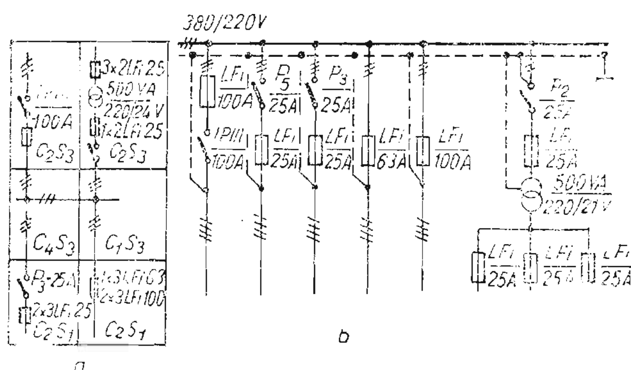


Fig. 4.27. Exemplu de asamblare a cutiilor capsulate Electroaparataj în cadrul unui tablou de distribuție:

a — schița tabloului; *b* — schema electrică monofilară a tabloului.

în sertare tip *A* construite pe dimensiunile modulului sau în sertare tip *B*, construite pe dimensiunile a două module.

f. *Tablourile capsulate* au gradele de protecție IP40, IP41, IP43, IP44, IP50, IP53, IP54, IP55, IP60 sau IP65 și se utilizează în medii uscate dar cu praf sau particule în suspensie (IP40, IP50, IP60) sau în medii umede (celelalte grade de protecție menționate).

Aceste tablouri se obțin prin asamblarea unor cutii capsulate care conțin materialele și aparatele electrice necesare și care sînt rigidizate între ele cu sau fără cadru de fixare, legăturile electrice între cutiile vecine făcîndu-se prin deschideri practicate pe fețele comune (eventual cu ajutorul unor piese sau cutii intermediare). Cutiile capsulate sînt tipizate pe mărimi și conținut și se confecționează prin turnare (din fontă sau aluminiu), presare (din mase plastice) sau prin sudare (din tablă OL—38). În tipizările curente, fiecare cutie are o destinație unică (bare, întreruptoare, siguranțe etc.).

În R.S. România tipurile uzuale de cutii capsulate tipizate sînt de construcție Electroaparataj, ICMA, TIAB (fig. 4.27, 4.28, 4.29; tab. 4.26).

Tablourile antigrizuroase și antiexplozive sînt alcătuite din cutii capsulate de construcție specială capabile să asigure protecția în mediile cu pericol deosebit în care lucrează. Aceste tipuri nu sînt în producție curentă în țara noastră.

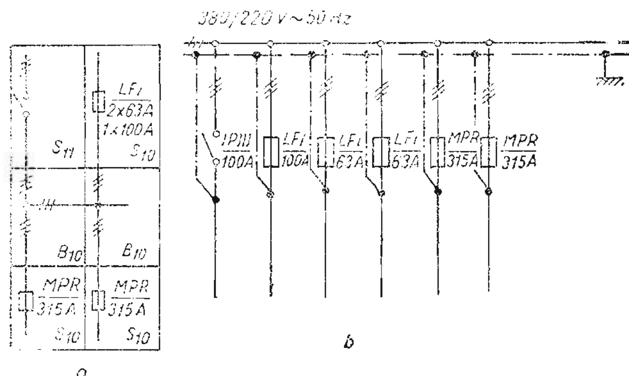


Fig. 4.28. Exemplu de asamblare a cutiilor capsulate ICMA în cadrul unui tablou de distribuție:

a — schița tabloului; *b* — schema electrică monofilară a tabloului.

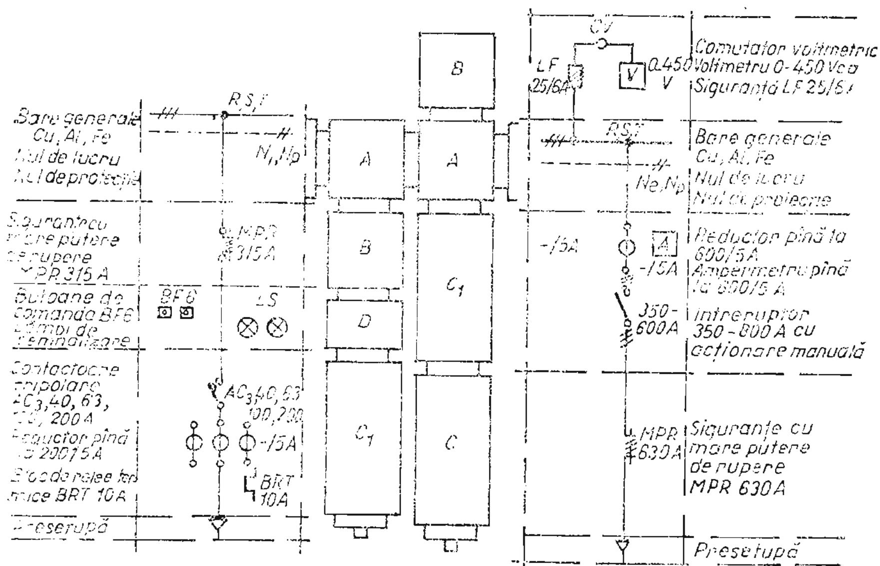


Fig. 4.29. Exemplu de echipare a cutiilor capsulate tip TIAB.

Tabelul 4.26

Tablouri de distribuție capsulate

Construcție	Material	Tip	Gabarit $a \times b \times c$ [mm]
Tip ELECTROAPARATAJ — Întreprinderea „Partizanul" — Gheorghieni	Tablă de oțel	B10	338 × 338 × 160
		B11	418 × 338 × 160
		B20	238 × 238 × 160
		B21	238 × 338 × 160
		I100	338 × 338 × 160
		I200	238 × 238 × 160
		S10	336 × 418 × 220
		S11	336 × 418 × 160
		S12	336 × 338 × 160
		S13	336 × 238 × 160
		S21	236 × 338 × 160
		S22	236 × 238 × 160
		S23	236 × 138 × 160
	Siluminiu	B10	336 × 336 × 166
		B20	236 × 236 × 136
		I100	250 × 340 × 104
		I200	170 × 280 × 104
		S10	336 × 436 × 210
		S11	336 × 436 × 166
		S12	336 × 336 × 266
		S13	336 × 236 × 166
		S22	256 × 256 × 136
		S21	256 × 356 × 166
		S23	256 × 156 × 136

Construcție	Material	Tip	Gabarit $a \times b \times c$ [mm]
Electro-aparataj	Masă plastică	J5	270 × 134 × 170
		J9	270 × 270 × 170
		J18r	518 × 270 × 170
		J18s	518 × 270 × 210
		J18z	518 × 270 × 250
ICMA-București	Tablă de oțel	C2S	344 × 262 × 167
		C2S1	344 × 343 × 167
		C2S2	344 × 342 × 200
		C2S3	344 × 472 × 167
		C2S5	344 × 472 × 250
		C4S3	344 × 392 × 167
		C6S3	344 × 837 × 167
TIAB-București	Tablă de oțel	A	350 × 350 × 170
		B	350 × 350 × 170
		B1	350 × 350 × 250
		C	350 × 600 × 170
		C1	350 × 600 × 250
		D	300 × 200 × 170
		E	350 × 430 × 170
		Piesă de legătură	
		Piesă de capăt	

Notă. *1.* Echiparea conform [23] sau [24].
2. Ferestre de trecere: cutiile de bare (B10 ... B21, J9, J18, C4S3, A), una pe fiecare față laterală; cutiile de aparate, una pe fiecare față laterală superioară și inferioară; cutiile intermediare, două pe fața de spate.

4.6. CURENTUL CERUT

În timp ce puterile cerute stau la baza alegerii echipamentelor cu rol de transformare a energiei electrice ca transformatoare, convertizoare, mutatoare ş.a., determinarea curentului cerut de un consumator de calcul este necesară pentru dimensionarea conductoarelor, alegerea aparatelor de protecţie, comutaţie, măsură şi a tablourilor de distribuţie.

Curentul cerut I_c de un consumator de calcul poate fi determinat după cum urmează:

— pe baza puterii cerute P_c (sau S_c), care a fost obţinută printr-una din metodele expuse în subcapitolul 1.4;

— prin metoda coeficienţilor curentului cerut, în care intervin numai puterile nominale ale receptoarelor.

a) Curentul cerut se obţine pe baza puterii active cerute P_c cu relaţia

$$I_c = \frac{P_c}{C_P U}, \tag{4.1}$$

iar pe baza puterii aparente cerute S_c

$$I_c = \frac{S_c}{C_S U}; \tag{4.2}$$

în aceste relaţii: U este tensiunea de linie, atît pentru receptoare trifazate (tensiunea între două faze), cît şi pentru receptoare monofazate sau de curent continuu (tensiunea între conductoare);

P_c, S_c — puterile activă, respectiv reactivă cerute de receptoare identice sau care fac parte din aceeaşi categorie din punct de vedere al valorilor coeficientului de cerere şi a factorului de putere cerut;

C_P, C_S — coeficienţi cu valori sau expresii precizate în tabelul 4.27, în funcţie de numărul receptoarelor pentru care se calculează curentul cerut, semnificaţia puterii cerute şi felul alimentării.

Tabelul 4.27

Coeficienţii C_P şi C_S pentru determinarea curentului cerut pe baza puterilor cerute

Felul alimentării	Coeficientul	Numărul receptoarelor: $n = 1 \ldots 3$, identice — Semnificaţia puterii cerute: putere electrică absorbită	Numărul receptoarelor: $n = 1 \ldots 3$, identice — Semnificaţia puterii cerute: putere utilă	Numărul receptoarelor: $n > 4$
trifazată	C_P	$\sqrt{3}\cos\varphi_n$	$\sqrt{3}\cos\varphi_n\,\eta_n$	$\sqrt{3}\cos\varphi_c$
	C_S	$\sqrt{3}$	$\sqrt{3}\eta_n$	$\sqrt{3}$
monofazată	C_P	$\cos\varphi_n$	$\cos\varphi_n\,\eta_n$	$\cos\varphi_c$
	C_S	1	η_n	1
curent continuu	C_P	1	η_n	1

Se subliniază că relațiile (4.1) și (4.2) nu au caracter empiric, ci reprezintă o formă condensată de scriere a diferitelor relații de calcul pentru curentul cerut; acest fapt a devenit posibil prin introducerea coeficienților C_p și C_s și definirea acestora în tabelul 4.27, pentru diversitatea de cazuri particulare întîlnite.

Curentul cerut de două sau trei receptoare diferite se obține însumînd curenții ceruți de fiecare receptor în parte, iar curentul cerut de un consumator de calcul cuprinzînd receptoare din m categorii diferite — făcînd suma curenților I_{ck} ceruți de fiecare categorie (k) în parte:

$$I_c = \sum_{k=1}^{m} I_{ck}. \qquad (4.3)$$

Puterile cerute P_{ck} sau S_{ck}, pe baza cărora se calculează curenții ceruți I_{ck}, se vor determina conform recomandărilor făcute la paragraful 1.4.1.

b) Metoda coeficienților curentului cerut se aplică pentru grupuri de receptoare trifazate cu tensiunea de linie $U = 380$ V, pînă la nivelul unor tablouri de distribuție [8].

Receptoarele se consideră grupate pe categorii, conform tabelului 4.28, indicîndu-se pentru fiecare categorie relația empirică de calcul a curentului cerut, direct din puterile nominale ale acestora. Pentru o anumită categorie k, formată din n_k receptoare, curentul cerut I_{ck} se determină cu o relație de forma:

$$I_{ck} = C_{1k} P_{xk} + C_{2k} \sum_{j=1+x}^{n_k} P_{jk}, \qquad (4.4)$$

în care $P_{xk} = \sum_{j=1}^{x} P_{nj}$ reprezintă suma primelor x puteri nominale ale receptoarelor, din șirul de valori P_n așezate în ordine descrescătoare;

$\sum_{j=x+1}^{n_k} P_{jk}$ — suma puterilor nominale ale restului de $(n_k - x)$ receptoare;

C_{1k}, C_{2k} — coeficienții curentului cerut, cu valori conform tabelului 4.28.

Puterile din relația (4.4) se consideră active pentru motoare (exprimate în kW) și aparente pentru transformatoare și cuptoare.

Curentul cerut de un consumator de calcul cuprinzînd mai multe categorii se calculează cu relația (4.3), în care m reprezintă numărul de categorii de receptoare, considerate în accepțiunea dată în tabelul 4.28.

Această modalitate de determinare a curentului cerut este cunoscută [8] sub denumirea de metoda coeficienților curentului de calcul. S-a evitat utilizarea pentru curentul cerut a unui asemenea sinonim, atît pentru a păstra semnificația concretă pe care o are, cît și pentru faptul că, așa cum se va vedea în continuare, există un număr mare de „curenți de calcul" cum ar fi curentul de vîrf, curentul de scurtcircuit, curentul de suprasarcină etc.

Tabelul 4.28

Relațiile pentru determinarea curentului cerut al coloanelor care alimentează tablouri de distribuție sau grupuri de receptoare trifazate

Categoria receptoarelor	Relația pentru determinarea curentului de calcul I_c [A]
— Motoare electrice cu funcționare continuă, bine încărcate (pompe, ventilatoare, aeroterme etc.)	$I_c = (1,6 \ldots 1,8) P_n$
— Motoare electrice ale mașinilor-unelte cu regim de lucru normal (ușor)	$I_c = 1,6\ P_4 + 0,67\ P_{n-4}$
— Idem, cu regim de lucru greu	$I_c = 1,6\ P_4 + 0,82\ P_{n-4}$
— Idem, foarte greu	$I_c = 1,6\ P_4 + 1,05\ P_{n-4}$
— Motoarele electrice ale macaralelor (motoare cu rotor bobinat cu $\cos\varphi = 0,65$)	
$DA_n = 15\%$	$I_c = 1,14\ P_1 + 0,46\ P_{n-1}$
$DA_n = 25\%$	$I_c = 1,32\ P_1 + 0,6\ P_{n-1}$
$DA_n = 40\%$	$I_c = 1,32\ P_1 + 0,74\ P_{n-1}$
Pentru motoare cu rotorul în scurtcircuit, $\cos\varphi = 0,5$ astfel că în acest caz pentru I_c se adaugă 30% peste valorile de mai sus.	
— Cuptoare cu rezistență (trifazate)	$I_c = (1,05 \ldots 1,35) P_i$
— Transformatoare de sudare $DA_n = 15\%$	$I_c = 1,8 P_3 + P_{n-3}$
— Mașini de sudat prin puncte, cap la cap și altele asemănătoare:	
$DA_n = 12,5\%$	$I_c = 2,6\ P_1 + 0,83\ P_{n-1}$
$DA_n = 25 \ldots 40\%$	$I_c = 2,6\ P_1 + 1,46\ P_{n-1}$
$DA_n = 70\%$	$I_c = 2,6\ P_1 + 1,95\ P_{n-1}$
— Motoare electrice ale instalațiilor de prepararea pămînturilor în turnătorie	$I_c = 1,6\ P_1 + 1,05\ P_{n-1}$
— Motoare electrice ale mașinilor și uneltelor portative sau manuale	$I_c = 1,5\ P_4 + 0,42\ P_{n-4}$
— Motoare electrice pentru acționarea mașinilor-unelte în ateliere cu producție de serie mare:	
— pentru prelucrare la cald	$I_c = 1,85\ P_5 + 0,64\ P_{n-5}$
— pentru prelucrare la rece	$I_c = 1,85\ P_5 + 0,49\ P_{n-5}$
— Motoare electrice pentru acționare în atelierele cu producție industrială și de serie mică	$I_c = 0,9(1,85\ P_5 + 0,49\ P_{n-5})$

Observații. P_1, P_4, P_5 reprezintă sumele puterilor nominale ale unui receptor, respectiv a patru și cinci receptoare de puterile cele mai mari, în kW pentru motoare, în kVA pentru transformatoare și cuptoare;
P_{n-1}, P_{n-4}, P_{n-5} reprezintă sumele puterilor nominale ale celorlalte receptoare din aceeași grupă, în kW sau în kVA;
P_n reprezintă suma puterilor tuturor receptoarelor, în kW sau kVA.

4.7. CURENTUL DE VÎRF

Unele receptoare electrice absorb, în anumite regimuri din funcționarea lor cu durate relativ reduse, curenți mai mari decît cei nominali, numiți curenți de vîrf. În această categorie se încadrează în primul rînd motoarele electrice, al căror curent de pornire poate fi de cîteva ori mai mare decît curentul nominal, în funcție de procedeul de pornire folosit. În afara motoarelor, prezintă curenți mai mari la punerea sub tensiune transformatoarele, elementele reactive (bobine, condensatoare), rezistoarele de încălzire și unele instalații de iluminat.

Cunoașterea curenților de vîrf pentru receptoare sau grupe de receptoare este importantă, deoarece parcurgînd circuitele, respective coloanele, aceștia solicită conductoarele și aparatele de protecție.

Pornirea directă a motoarelor electrice este admisă [32] în următoarele condiții :

— puterea motoarelor să nu depășească 20% din puterea transformatoarelor funcționînd în paralel, la consumatorii alimentați prin posturi de transformare proprii ;

— în cazul instalațiilor alimentate de la surse electrice proprii, puterea motoarelor care pot fi pornite direct se va determina pe bază de calcul, verificîndu-se satisfacerea condiției de pierdere de tensiune admisă ;

— la consumatorii racordați direct la rețeaua de joasă tensiune a furnizorului, motoare cu puteri pînă la 4 kW inclusiv, sau 5,5 kW inclusiv, după cum tensiunea de linie a rețelei este de 220 V, respectiv 380 V.

Pentru restul situațiilor trebuie stabilite modalități adecvate de pornire, după tipul și puterea motorului, ținînd cont și de specificul mașinii antrenate.

Condițiile de pornire a motoarelor electrice cu puteri mai mari de 5,5 kW, la consumatorii racordați direct la rețeaua de joasă tensiune a furnizorului (de ex. stații de hidrofor, pompe de incendiu, stații de pompare pentru ape uzate, puncte termice etc), se stabilesc de la caz la caz, pe baza unei analize în faza de proiectare, ținînd seamă de natura consumatorului și numai cu avizul întreprinderii furnizoare de energie.

În cazul instalațiilor electrice industriale, alimentarea în joasă tensiune a receptoarelor se realizează prin posturi de transformare, ceea ce impune ca :

— pentru motoarele de acționare individuale (ventilatoare, polizoare, pompe etc) să se prevadă modalitățile de pornire corespunzătoare ;

— pentru motoarele de acționare incluse în utilaje, care sînt prevăzute cu anumite sisteme de pornire, să se verifice și să se rezolve îndeplinirea condițiilor privind pornirea directă.

Curentul de pornire I_p al motoarelor cuplate direct la rețea se determină cu ajutorul curentului relativ de pornire λ, conform relației :

$$I_p = \lambda I_n, \tag{4.5}$$

în care I_n este curentul nominal al motorului. Curentul relativ de pornire λ se indică în datele de catalog ale motorului, valorile uzuale fiind :

— 6,5 ... 8 — pentru motoare asincrone cu rotor în colivie ;

— 2 ... 2,5 — pentru motoare asincrone cu rotor bobinat ;

— 3 ... 7 — la pornirea în asincron a motoarelor sincrone ;

— 1,7 ... 2 — pentru motoare de curent continuu.

Dacă pornirea nu se face prin cuplare directă, cu ajutorul unor mijloace speciale de pornire, calculul curentului de pornire se poate face cu relația

$$I_p = \lambda' I_n, \tag{4.6}$$

în care λ' reprezintă curentul relativ de pornire corespunzător situației reale. Folosirea relației (4.6) este condiționată de cunoașterea relației de legătură dintre curentul relativ de pornire din cazul pornirii directe și cel

corespunzător modalității de pornire utilizate. Pentru motoarele asincrone se cunosc următoarele relații :

— $\lambda' = \frac{\lambda}{3}$ la pornirea stea-triunghi ;

— $\lambda' = \frac{\lambda}{K^2}$ la pornirea prin autotransformator, K fiind raportul de transformare ;

— $\lambda' = \frac{\lambda}{1,2 \ldots 2}$ la pornirea cu reostat de pornire.

Curenții de pornire determinați cu relațiile (4.5) și (4.6) sînt curenți de vîrf pentru circuitele de receptor, avînd semnificația unor mărimi tranzitorii.

În cazul coloanelor sau circuitelor de utilaj, curenții de vîrf au două componente, dintre care una este tranzitorie (I_{vt}), reprezentînd suma curenților de pornire ai receptoarelor care pornesc concomitent sau la intervale în care regimurile lor de pornire se suprapun și una este permanentă (I_{vp}), reprezentînd suma curenților ceruți de restul receptoarelor, considerate în funcțiune. Se poate scrie deci

$$I_v = I_{vt} + I_{vp}. \tag{4.7}$$

Un consumator de calcul cu n receptoare, la care se cunoaște faptul că un număr k de receptoare pornesc simultan, absoarbe un curent de vîrf

$$I_v = \sum_{j=1}^{k} I_{pj} + \sum_{j=k+1}^{n} I_{cj}, \tag{4.8}$$

în care

$$\sum_{j=1}^{k} I_{pj} = I_{vt} \text{ și } \sum_{j=k+1}^{n} I_{cj} = I_{vp}.$$

Dacă nu se cunoaște numărul motoarelor care pornesc concomitent, se consideră că pornește motorul pentru care diferența dintre curentul de pornire și curentul nominal este maximă, astfel încît relația (4.7) se scrie

$$I_v = I_{pM} + \sum_{j=1}^{n-1} I_{cj}, \tag{4.9}$$

în care I_{pM} reprezintă curentul de pornire al motorului pentru care $(I_p - I_n)$ are valoarea maximă.

4.8. PROTECȚIA INSTALAȚIILOR ELECTRICE DE JOASĂ TENSIUNE

Prin laturile rețelelor electrice de joasă tensiune pot circula în mod accidental, în afara curenților ceruți și de vîrf, supracurenți datorați unor cauze ca :

— scurtcircuite, constînd în scăderea bruscă a valorii impedanței sau rezistenței echivalente din circuit ;

— suprasarcini, constînd în solicitarea receptoarelor la puteri mai mari decît cele nominale sau peste durata de acționare normală, fie din motive tehnologice, fie datorită unor variații prelungite a tensiunii la bornele acestora în raport cu tensiune nominală.

Se poate considera că domeniul de valori pentru curenții de suprasarcină este (1,05 ... 1,50) I_c, în raport cu intensitatea curentului cerut, iar curenții de scurtcircuit sînt mai mari decît 2 I_c.

Împotriva acestor curenți accidentali, instalațiile electrice trebuie protejate prin dispozitive de protecție corespunzătoare.

Protecția împotriva curenților de scurtcircuit are semnificația unei protecții a rețelelor de joasă tensiune, deoarece numai acestea sînt solicitate la scurtcircuit. În asemenea situații, receptoarele electrice fie că sînt cauza însăși a producerii scurtcircuitului, datorită producerii unui defect interior de izolație, fie că le scade la zero tensiunea de alimentare, astfel încît problema protecției lor este în ambele cazuri nesemnificativă.

În ceea ce privește protecția împotriva curenților de suprasarcină, aceasta are în schimb semnificația unei protecții a receptoarelor, deoarece curenții de suprasarcină nu reprezintă o solicitare deosebită pentru rețelele dimensionate a rezista la acțiunea curenților de scurtcircuit.

Alte protecții destinate receptoarelor sînt:

— contra lipsei de tensiune sau a scăderilor acesteia (tensiune minimă);

— contra măririi exagerate a turației, în cazurile cînd această mărire ar putea provoca pagube importante sau ar primejdui viața oamenilor (la motoarele de curent continuu cu excitație serie);

— contra funcționării în două faze.

4.8.1. CONDIȚII DE PREVEDERE A PROTECȚIEI REȚELELOR ELECTRICE

Împotriva curenților de scurtcircuit, rețelele electrice de joasă tensiune se protejează prin siguranțe fuzibile și întreruptoare automate cu relee sau declanșatoare electromagnetice.

În figura 4.30 sînt reprezentate principalele situații în care, conform normativului [32] în vigoare, trebuie prevăzute dispozitive de protecție (pentru simplificare, dispozitivele de protecție sînt reprezentate prin simbolul siguranțelor fuzibile). Acestea sînt următoarele:

— la plecările din tablourile de distribuție, ca de exemplu siguranțele *e1* ... *e5* de pe plecările tabloului general *TG*, *e6* ... *e9* de pe cele ale tabloului principal *TP2*, *e10* ... *e12* ale tabloului secundar *TS1*, *e13* ... *e16* ale tabloului de utilaj *TU* (fig. 4.30, *a*) și *e1* de pe plecarea liniei principale *LP* din tabloul general *TG* (fig. 4.30, *b*);

— la ramificațiile spre receptoare individuale, ca de exemplu siguranțele *e14* ... *e18* (fig. 4.30, *a*);

— pe circuitele secundare de comandă, protecție, măsură și semnalizare, exemplificarea fiind dată prin siguranța *e13* (fig. 4.30, *a*), cu excepția cazurilor în care siguranțele circuitelor de forță sînt corespunzătoare și pentru aceste circuite;

— în toate punctele în care secțiunea coloanei descrește, astfel de situații determinînd de exemplu, montarea siguranțelor *e2*, *e3* și *e5* (fig. 4.30, *b*). Fac excepție de la această prevedere cazurile în care dispozitivul

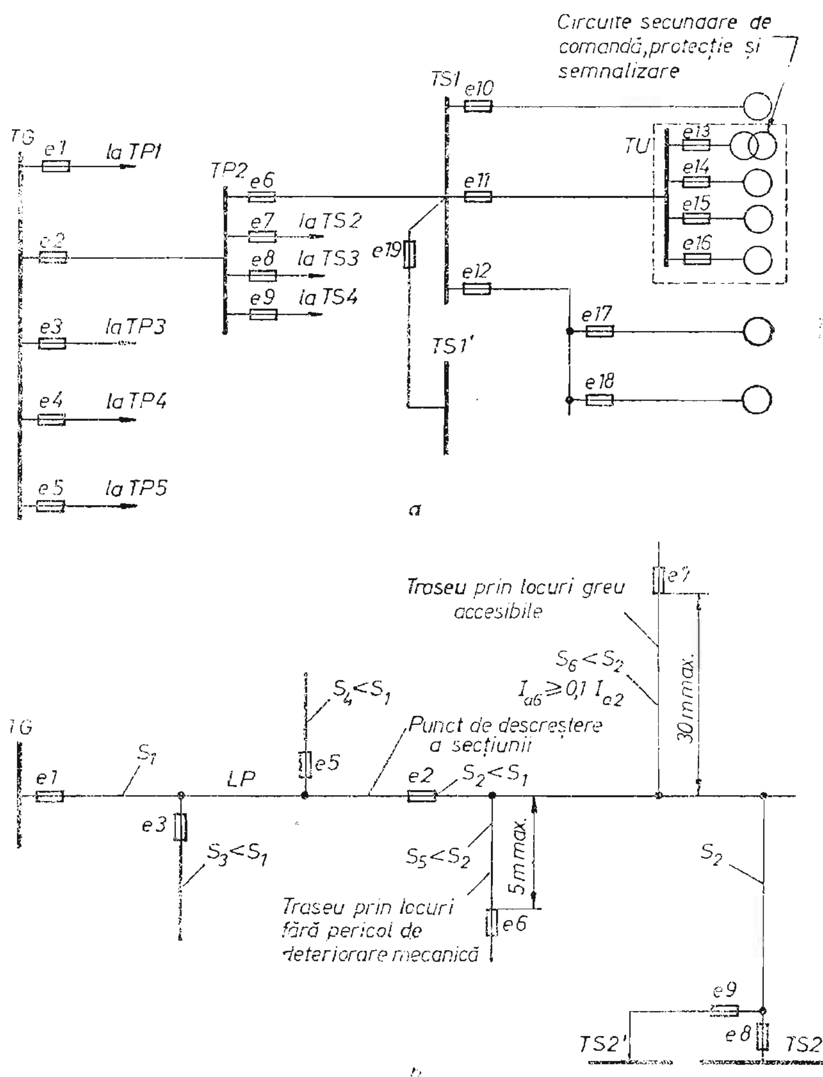


Fig. 4.30. Principalele condiții de prevedere a protecției rețelelor electrice împotriva curenților de scurtcircuit:

a – rețea combinată; *b* – rețea cu linie principală.

de protecție din amonte de punctul respectiv asigură secțiunea cea mai mică a ramificației, precum și coloanele executate din bare. Astfel, în rețeaua din figura 4.30, *b* siguranțele *e2* pot lipsi, dacă siguranțele *e1* îndeplinesc condițiile de protecție pentru tronsonul liniei principale cu secțiunea s_2;

– după punctul de descreștere a secțiunii pentru coloana ramificată, în locuri accesibile, la distanțe de cel mult 5 m, dacă ramificația este amplasată în locuri fără pericol de deteriorare mecanică (siguranțele *e6*, fig 4.30, *b*) și de cel mult 30 m, dacă ramificația este amplasată în locuri greu acce-

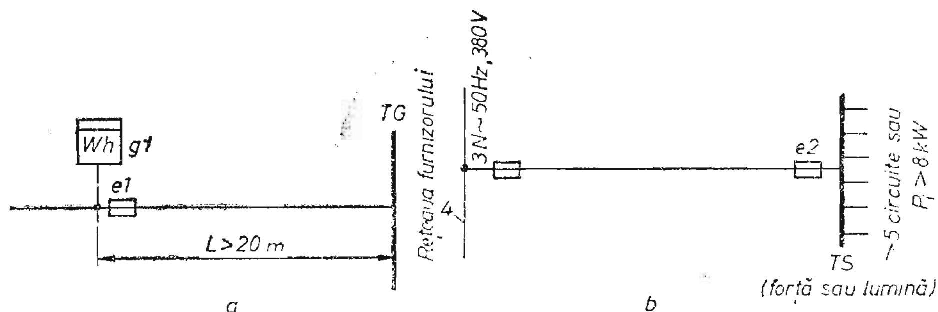


Fig. 4.31. Prevederea protecției în condiții legate de furnizorul de energei electrică:
a — la ieșirea din contorul de tarifare; *b* — la intrarea tablourilor de distribuție cu mai mult de 5 circuite, sau $P_i > 8$ kW alimentate direct din rețeaua de joasă tensiune a furnizorului.

sibile, cu condiția ca secțiunea ramificației să aibe o capacitate de transport egală cu minimum 10% din aceea a coloanei magistrale (siguranțele *e7*, fig. 4.30, *b*);

— la plecările racordate direct la bornele de intrare ale unui tablou de distribuție (siguranțele *e19* de pe coloana tabloului *TS1'*, fig. 4.30, *a*) sau înaintea siguranțelor generale ale acestuia (siguranțele *e9* de pe coloana *TS2'*, fig. 4.30, *b*). În astfel de situații, se găsesc coloanele iluminatului de siguranță, pompelor de incendiu, ascensoarelor etc.

Prevederea protecției în condiții avînd legătură cu furnizorul de energie electrică este ilustrată în figura 4.31. Conform acestor condiții, se montează dispozitive de protecție la:

—ieșirea din contorul de tarifare *g1* al întreprinderii furnizoare de energie electrică, dacă lungimea coloanei pînă la tabloul de distribuție este mai mare de 20 m (siguranțele *e1*, fig. 4.31, *a*);

— intrarea în tablourile de distribuție cu puterea instalată totală mai mare de 8 kW, la consumatori alimentați direct din rețeaua de joasă tensiune a furnizorului (siguranțele *e2*, fig. 4.31, *b*);

— intrarea în tablourile de lumină sau forță, cu mai mult de 5 circuite, alimentate direct din rețeaua de joasă tensiune a furnizorului (siguranțele *e2*, fig. 4.31, *b*). În cazul unor puteri instalate de 5 ... 8 kW, necesitatea prevederii dispozitivelor de protecție la intrarea în tablourile de forță, cu mai puțin de 5 circuite, se apreciază de proiectant, în funcție de specificul tehnologic al receptoarelor alimentate din tablourile respective.

Se exceptează de la prevederea referitoare la montarea dispozitivelor de protecție pe fiecare circuit (ramificație) de receptor și se admite o protecție comună mai multor receptoare în următoarele situații, reprezentate în figura 4.32:

— dacă linia principală din care se ramifică circuitele de

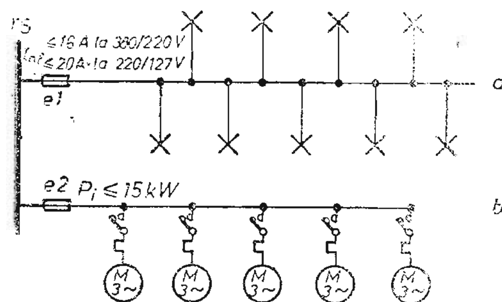


Fig. 4.32. Distribuții cu protecții comune pentru mai multe receptoare:
a — de mică putere (corpuri de iluminat); *b* — motoare electrice.

alimentare a unor receptoare de mică putere, ca aparate de uz casnic, corpuri de iluminat ş.a. este asigurată la plecarea din tablou cu siguranţe de maximum 16 A la tensiunea de 380/220 V, respectiv de 20 A la tensiunea de 220/127 V (fig. 4.32,*a*) ;

— dacă puterea instalată totală a motoarelor electrice alimentate de la aceeaşi linie principală nu depăşeşte 15 kW (fig. 4.32, *b*). În acest caz, pentru dimensionarea conductoarelor şi fuzibilelor, se va avea în vedere simultaneitatea sarcinilor în regim normal şi la pornire, iar fiecare motor va fi prevăzut cu contactor şi dispozitiv de protecţie (releu termic) contra suprasarcinii.

Montarea dispozitivelor de protecţie este interzisă în următoarele situaţii, reprezentate în figura 4.33 :

— pe conductele utilizate ca nul de lucru (de exemplu, siguranţele *e3* şi *e4*). Fac excepţie instalaţiile monofazate din construcţiile de locuinţe sau alte construcţii, în care nu este asigurată întreţinerea instalaţiei prin personal calificat, la care se montează dispozitive de protecţie (siguranţe sau întreruptoare automate mici) şi pe conducta de nul de lucru. Această conductă nu se admite a fi utilizată, în astfel de cazuri, pentru protecţie şi trebuie să aibă acelaşi grad de izolaţie ca şi conducta de fază ;

— pe conductele instalaţiei de protecţie împotriva electrocutării (pămînt, nul ş.a.), cazuri concretizate în instalaţia din figura 4.33 prin siguranţele *e5* de pe conducta N_p de nul de protecţie şi *e6* de pe conducta de legare la pămînt.

În general, se recomandă utilizarea siguranţelor fuzibile ca dispozitive de protecţie împotriva curenţilor de scurtcircuit, montarea lor făcîndu-se pe toate fazele sau polii instalaţiei electrice respective. Acestea se fabrică într-o gamă largă de curenţi nominali (v. subcap. 4.5), curentul nominal maxim fiind de 1000 A, sînt simple, ieftine şi sigure în exploatare.

Soluţia protecţiei la scurtcircuit prin întreruptoare automate de joasă tensiune cu relee sau declanşatoare electromagnetice se adoptă [32] în următoarele cazuri :

— cînd curentul nominal al dispozitivului de protecţie rezultă mai mare de 1000 A ;

— cînd este necesară repunerea imediată (manual sau automat) sub tensiune, a consumatorului alimentat prin porţiunea de reţea considerată ;

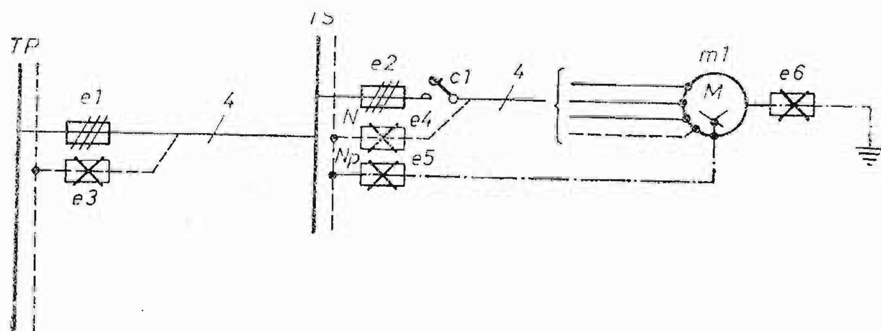


Fig. 4.33. Explicativă pentru cazurile interzise de echipare cu dispozitive de protecţie : *e1*, *e2* — dispozitive de protecţie obligatorii (pe faze) ; *e3*, . . ., *e6* — idem, interzise ; m_1 — receptor cu neutru accesibil ; N — nul de lucru ; N_p — nul de protecţie.

— cînd se cere ca dispozitivul de protecție să fie comandat de protecții suplimentare sau blocaje (de ex. la utilaje);

— cînd consumatorul funcționează frecvent în regim de suprasarcină;

— cînd rețeaua de joasă tensiune funcționează buclat;

— cînd capacitatea de rupere necesară pentru dispozitivul de protecție, cel puțin egală cu valoarea curentului de scurtcircuit care ar putea să apară în punctul considerat, nu poate fi realizată prin montarea siguranțelor fuzibile.

Avînd în vedere că întreruptoarele automate de joasă tensiune sînt prevăzute, în afara releelor sau declanșatoarelor maximale de curent (electromagnetice) și cu relee sau declanșatoare, în toate cazurile de mai sus se va face dimensionarea și reglarea protecției la suprasarcină. Rezultă că circuitele de utilaj și coloanele electrice se protejează la suprasarcină numai în acele situații, cînd protecția lor la scurtcircuit se realizează prin întreruptoare automate cu relee sau declanșatoare electromagnetice și termice.

4.8.2. CONDIȚII DE PREVEDERE A PROTECȚIEI RECEPTOARELOR

Principala protecție a receptoarelor electrice de forță este împotriva curenților de suprasarcină. Aceasta se realizează prin dispozitive de protecție cu relee termice, cum sînt contactoarele automate de joasă tensiune cu relee termice (v. par. 4.5).

Caracteristica de funcționare a releului termic trebuie să asigure acționarea contactorului înainte de apariția pericolului de deteriorare (supraîncălzirea și străpungerea izolației) a receptorului protejat. Pe de altă parte, protecția nu trebuie să acționeze (să întrerupă circuitul) la suprasarcini de scurtă durată, normale, ca de exemplu curenții de pornire ai motoarelor electrice, vîrfurile de curent date de procesul tehnologic etc.

Sînt în curs de răspîndire elemente termosensibile realizate pe bază de termistoare [10], care au avantajul că realizează o protecție mai sigură decît releele termice, datorită faptului că termistoarele se implantează în mai multe puncte sensibile ale receptorului de protejat.

Protecția contra suprasarcinii prin dispozitive automate nu este obligatorie în următoarele situații [32]:

— cînd nu există posibilitatea apariției unor suprasarcini, fie datorită însăși principiului de funcționare a receptoarelor (de ex. sursele de lumină), fie datorită nesimultaneității regimurilor lor de suprasarcină (cazul coloanelor și al circuitelor de utilaj);

— la motoarele electrice cu puteri mai mici de 1,1 kW, în cazurile cînd acestea au un regim de funcționare intermitent sau de scurtă durată sau în cazurile de regim de lungă durată, dacă supraîncărcarea lor nu este posibilă (de ex. la aeroterme, ventilatoare etc.).

Siguranțele fuzibile montate pe circuite, de pe care lipsesc dispozitive de protecție la suprasarcină conform celor de mai sus, ar fi de preferat [32] să aibă o caracteristică lentă de funcționare.

Motoarele electrice cu puteri sub 1,1 kW, ale căror circuite sînt protejate numai prin siguranțe fuzibile se recomandă să fie prevăzute cu protecție contra funcționării în două faze. Această protecție se impune a fi aplicată și altor receptoare a căror funcționare nu este posibilă decît la alimentare trifazată.

Protecția la lipsa de tensiune sau tensiune minimă se prevede în următoarele cazuri [32]:

— la motoarele electrice care nu pornesc prin conectare directă la rețea, ci prin aparate de pornire cu acționare manuală;

— la motoarele electrice a căror autopornire nu este permisă, fie datorită condițiilor procesului tehnologic, fie datorită pericolului pe care-l prezintă pentru personalul de exploatare;

— la motoarele electrice cu pornire automată.

Dispozitivele care realizează protecția la lipsa de tensiune sau la tensiune minimă se montează, în general, pentru fiecare motor în parte; se admite utilizarea unui singur dispozitiv pentru mai multe motoare din aceeași încăpere care, dacă sînt pornite direct, suma puterilor lor nominale nu depășește 15 kW sau dacă sînt pornite cu aparate speciale, acestea sînt readuse automat în starea inițială de pornire, în cazul lipsei de tensiune.

4.9. SELECTIVITATEA PROTECȚIEI

4.9.1. GENERALITĂȚI

Rețelele electrice de joasă tensiune conțin un număr mare de dispozitive de protecție, de același tip sau de tipuri diferite, unele dintre ele fiind plasate în serie, în sensul distribuției de energie. Aceste dispozitive de protecție, trebuie să funcționeze selectiv, adică în cazul unei avarii, este necesar să acționeze protecția cea mai apropiată de locul avariei și care este destinată naturii avariei produse, izolîndu-se astfel numai porțiunea respectivă de rețea, restul receptoarelor continuînd să fie alimentate.

Selectivitatea protecției, între dispozitive de același tip sau de tipuri diferite, trebuie asigurată în condițiile că acestea realizează:

— protecții similare, fie contra curenților de scurtcircuit (selectivitatea între două siguranțe fuzibile, între două întreruptoare automate cu relee sau declanșatoare electromagnetice sau între o siguranță și un întreruptor automat), fie contra curenților de suprasarcină (selectivitatea între două relee sau două declanșatoare termice sau între un releu și un declanșator termic);

— protecții diferite, un dispozitiv realizînd protecția împotriva curenților de scurtcircuit și celălalt împotriva curenților de suprasarcină (selectivitatea dintre siguranță fuzibilă și releu sau declanșator termic, dintre relee sau declanșatoare electromagnetice și termice).

În cazul în care protecția este realizată prin dispozitive de același tip și fabricație, curenții nominali ai fuzibililor siguranțelor, respectiv timpii de declanșare ai întreruptoarelor automate vor fi în creștere, în sensul de parcurgere a instalației electrice de la receptor spre sursă.

Pentru dispozitive de protecţie de tip sau de fabricaţie diferită, selectivitatea se asigură prin examinarea caracteristicilor de protecţie corespunzătoare.

4.9.2. CRITERII DE APRECIERE A SELECTIVITĂŢII

Funcţionarea selectivă a protecţiei se studiază în mod riguros prin trasarea caracteristicilor de protecţie pentru dispozitivele care lucrează în serie şi determinarea diferenţelor de timp Δt între timpii de acţionare la anumite valori ale curenţilor. Selectivitatea este asigurată atunci cînd, aceste diferenţe de timp au valori egale sau mai mari decît cele care se indică în cele ce urmează, pentru fiecare situaţie în parte.

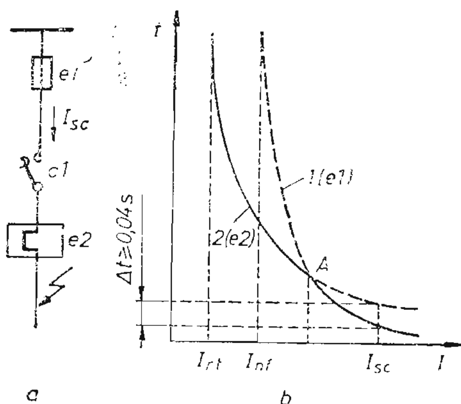


Fig. 4.34. Explicativă pentru selectivitatea dintre o siguranţă fuzibilă şi un releu termic:

a — schema de alimentare a circuitului; *b* — caracteristicile de protecţie.

a) Selectivitatea între o siguranţă fuzibilă şi un releu termic trebuie realizată în special la nivelul circuitelor electrice de receptor, aici găsindu-se înseriate cele două dispozitive de protecţie. Acestea sînt prevăzute pentru protecţii diferite, la scurtcircuit, respectiv suprasarcină, astfel încît selectivitatea între ele este asigurată dacă fiecare dispozitiv acţionează în domeniul corespunzător de supracurenţi.

În figura 4.34 se prezintă un circuit prevăzut cu siguranţele *e1* şi releul termic *e2*, acesta din urmă acţionînd asupra contactorului *c1* (fig. 4.34, *a*) şi caracteristicile de protecţie corespunzătoare (fig. 4.34, *b*).

Caracteristicile de protecţie se intersectează într-un punct *A*, care are la stînga domeniul supracurenţilor (de suprasarcină) pentru care protecţia este asigurată de releul termic *e2* conform caracteristicii *2*, iar la dreapta — domeniul supracurenţilor (de scurtcircuit) pentru care protecţia este asigurată de siguranţele fuzibile *e1*, conform caracteristicii *1*.

La valoarea curentului de scurtcircuit I_{sc}, care s-ar stabili pe tronsonul considerat, diferenţa Δt între ordonatele corespunzătoare celor două caracteristici, dintre care cea a releului termic este deasupra, trebuie să fie $\Delta t \geqslant 0{,}04$ s. Folosirea unei siguranţe fuzibile cu un curent nominal prea mic, ar determina neselectivitatea protecţiei în domeniul curenţilor de suprasarcină, iar una cu un curent nominal mai mare — neselectivitatea în domeniul curenţilor de scurtcircuit. Ultima situaţie este deosebit de periculoasă, deoarece ruperea curenţilor de scurtcircuit de către contactor atrage după sine deteriorarea acestuia.

Cînd se utilizează pentru protecţia la suprasarcină relee termice tip TSA (v. subcap. 4.5), pentru a avea selectivitate, curentul nominal al fuzibilului trebuie să aibă cel puţin valorile corespunzătoare din tabelul 4.29. Din analiza acestor date se constată că selectivitatea între o siguranţă fuzibilă cu putere de rupere medie şi un releu termic este asigurată dacă curenţii respectă condiţia

$$I_{nf} \geqslant 3I_{rt}, \qquad (4.10)$$

Corelația dintre curentul nominal minim al fuzibilului și curentul de reglaj al releului termic tip TSA, pentru a avea selectivitate

I_{rt}[A]	0,4 ; 0,55	0,75 ; 1	1,3 ; 1,8	2,4	3,3	4,5 ; 6	8	11	15	20
I_{nf}[A]	2	4	6	10	16	20	25	35	50	63
I_{rt}[A]	25	32	40	63		100	200 ; 250		315	400
I_{nf}[A]	80	100	125	160		315	630		800	1 000

iar dacă siguranța este de tip MPR (mare putere de rupere)

$$(I_{nf})_{MPR} \geq 2{,}5I_{rt}. \qquad (4.11)$$

Evident, se va alege întotdeauna curentul nominal minim al siguranței fuzibile, care respectă relația (4.10), respectiv (4.11).

b) Selectivitatea între două siguranțe fuzibile *e1* și *e2*, (fig. 4.35), avînd curenții nominali $I_{nf_1} > I_{nf_2}$ se obține atunci cînd:

— caracteristicile lor de protecție nu se intersectează sau punctul de intersecție se situează la o valoare a curentului mai mare decît curentul de scurtcircuit I_{sc}, de la locul instalării siguranței avînd curentul nominal cel mai mic;

— diferențele de timp măsurate pe diagramă au valorile indicate în figura 4.35, *b*.

În cadrul rețelelor electrice de joasă tensiune, cazul siguranțelor fuzibile consecutive este cel mai frecvent întîlnit. Pentru rezolvarea mai rapidă a problemei selectivității, fără a mai fi necesar studiul caracteristicilor de protecție timp-curent sau dacă nu există posibilitatea cunoașterii lor exacte, se recomandă [32] ca, între curenții nominali a două siguranțe consecutive, eșalonarea să fie cel puțin din două în două trepte pe scara normalizată, dacă siguranțele sînt cu topire rapidă și din treaptă în treaptă, dacă sînt cu topire lentă. Corelația dintre curenții nominali ai siguranțelor înseriate, de fabricație internă, este prezentată în tabelul 4.30.

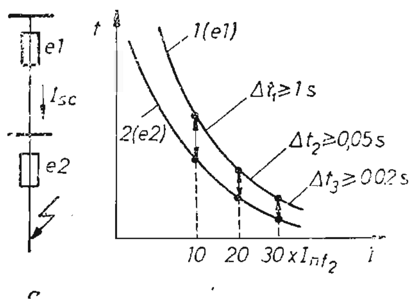


Fig. 4.35. Explicativă pentru selectivitatea dintre două siguranțe fuzibile: *a* — schema de alimentare; *b* — caracteristicile de protecție.

Se evită montarea siguranțelor cu topire rapidă înaintea celor cu topire lentă.

Pentru exemplificarea modului de eșalonare a siguranțelor fuzibile, se consideră un tablou secundar de distribuție avînd pe plecări siguranțe rapide de 35 și 50 A; în amonte de acestea, pe coloana de alimentare a tabloului, se vor monta siguranțe de minimum 80 A.

c) Selectivitatea între un întreruptor automat *a1* și o siguranță fuzibilă *e2*

Corelația între curenții nominali ai fuzibilelor de același fel, înseriate, pentru asigurarea selectivității

Tipul siguranțelor	Poziția în raport cu sensul distribuției	Intensitatea nominală a fuzibilului [A]								
Cu filet	amonte	16	20	25	35	50	63	80	100	
	aval	6	10	16	20	25	35	50	63	
MPR	amonte	160	200	250	315	400	500	630	800	1 000
	aval	100	125	160	200	250	315	400	500	630

(fig. 4.36) este realizată atunci cînd caracteristicile nu se intersectează și diferența de timp măsurată între punctele cele mai apropiate ale caracteristicilor este $\Delta t \geq 0{,}04$ s; dacă siguranța fuzibilă *e2* este prea mare (cu linie întreruptă în fig. 4.36, *b*), apare un triunghi de neselectivitate (hașurat).

Întreruptorul automat se consideră prevăzut cu declanșatoare (sau relee) termice și electromagnetice, astfel încît caracteristica să se compune din două porțiuni: pe porțiunea *AB* acționează declanșatorul (sau releul) termic, iar pe porțiunea *CD* — declanșatorul (sau releul) electromagnetic. Acest caz de selectivitate apare, în general, la nivelul tablourilor generale.

d) Selectivitatea între o siguranță fuzibilă *e1* și un întreruptor automat *a1*, care se succed pe o direcție de distribuție conform schemei din figura 4.37, *a*, este asigurată dacă intersecția inevitabilă a celor două caracteristici se situează la un curent I_A mai mare decît curentul de scurtcircuit I_{sc} din aval de întreruptorul automat, iar între cele două caracteristici există, la curentul de scurtcircuit considerat, un interval $\Delta t \geq 0{,}05$ s,

Această variantă de înseriere a celor două dispozitive de protecție este mai rar întîlnită în instalațiile electrice industriale (v. par. 4.8.1), fiind

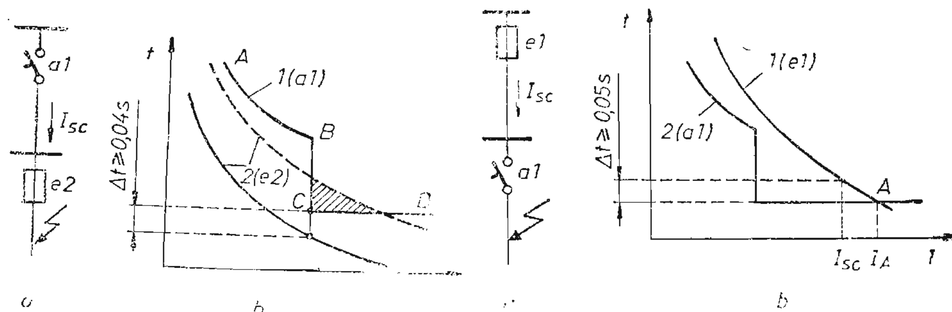


Fig. 4.36. Explicativă pentru selectivitatea dintre un intreruptor automat și o siguranță fuzibilă:

a — schema de alimentare; *b* — caracteristicile de protecție.

Fig. 4.37. Explicativă pentru selectivitatea dintre o siguranță fuzibilă și un întreruptor automat:

a — schema de alimentare; *b* — caracteristicile de protecție.

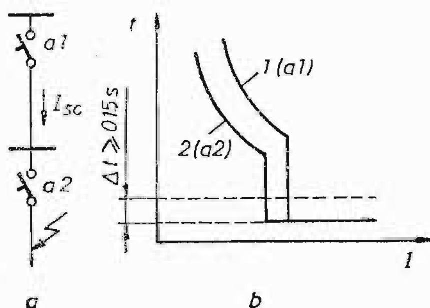


Fig. 4.38. Explicativă pentru selectivitatea dintre două întreruptoare automate:
a — schema de alimentare; b — caracteristicile de protecție.

mai frecventă la instalațiile electrice din clădiri de locuit și similare, unde se utilizează microîntreruptoare automate pentru protecția circuitelor.

Corelația dintre curenții nominali ai siguranțelor fuzibile și ai întreruptoarelor automate mici conectate în aval de acestea, pentru realizarea selectivității, este prezentată în tabelul 4.31.

e) Selectivitatea între două întreruptoare automate *a1* și *a2* (fig. 4.38), avînd curenții nominali $I_{n1} > I_{n2}$ este asigurată, în general, în domeniul curenților de suprasarcină; la curenții de scurtcircuit, declanșatoarele (sau releele) electromagnetice ale ambelor întreruptoare declanșează practic simultan, deci neselectiv.

Pentru obținerea selectivității este necesar ca acțiunea dispozitivului de protecție electromagnetic al întreruptorului *a1* să fie temporizată cu treapta de timp $\Delta t \geqslant 0,15$ s (posibilă la întreruptorul OROMAX cu declanșator tip Ksi).

Tabelul 4.31

Corelația între curenții nominali ai siguranțelor fuzibile și ai întreruptoarelor automate mici conectate în serie, pentru realizarea selectivității

Curentul nominal al întreruptorului automat mic, [A]		6	10	16	20	25
Curentul nominal minim al siguranței fuzibile din amonte	rapidă	20	25	35	50	60
	lentă	16	20	25	35	50

Situația înserierii a două întreruptoare automate se întîlnește la nivelul unui tablou general, la care sînt racordate tablouri de distribuție asimetric încărcate. Evitarea măsurii de temporizare a acțiunii releului electromagnetic, care comandă întreruptorul *a1*, se poate obține prin repartizarea cît mai uniform posibilă a sarcinilor pe tablouri de distribuție, ceea ce adeseori permite înlocuirea întreruptorului *a2* prin siguranțe fuzibile.

4.10. ALEGEREA APARATELOR DE PROTECȚIE ȘI COMUTAȚIE

4.10.1. PRECIZĂRI GENERALE

În proiectarea rețelelor electrice de joasă tensiune este indicat ca, după stabilirea schemei generale de alimentare, să se treacă la alegerea aparatelor de protecție și comutație. Această cerință este logică deoarece:

— protecția la suprasarcină, ca protecție a receptoarelor, poate fi dimensionată direct în funcție de caracteristicile tehnice ale acestora ;

— protecția la scurtcircuit, deși reprezintă o protecție a rețelelor, este recomandabil să fie dimensionată înainte de alegerea secțiunii conductoarelor, pentru a nu se ajunge la situația în care ansamblul relațiilor de calcul pentru curenții nominali ai fuzibilelor sau pentru curenții de reglaj ai releelor electromagnetice să definească o mulțime vidă. În acest fel, se elimină unele reveniri în mersul de proiectare.

Alegerea aparatelor de protecție și comutație trebuie să fie precedată de prevederea acestora pe schema generală de distribuție, conform condițiilor expuse în subcapitolul 4.8. Pentru a rezolva cu prilejul alegerii aparatelor și problema selectivității protecției, se începe cu rețelele de distribuție și se continuă cu cele de alimentare, pînă la coloana generală din postul de transformare.

În general, la alegerea aparatelor, ca și a materialelor, nu pot fi luate în considerare toate condițiile și solicitările pe care trebuie să le satisfacă, deoarece unele nu pot fi determinate decît după depășirea unei prime etape — de alegere pentru regimul de funcționare normal. De aceea, unele condiții, ca de exemplu pentru aparate — stabilitatea termică și dinamică la curenți de scurtcircuit, se grupează pentru a doua etapă, de verificare.

Alegerea aparatelor pentru regimul de funcționare normal se face pe baza următoarelor considerente :

— rolul funcțional la locul de montare și modul de acționare (dacă este cazul) ;

— categoriile în care se încadrează încăperea, spațiul, locul sau zona respectivă din punct de vedere al caracteristicilor mediului, al pericolului de electrocutare și al pericolului de incendiu (v. subcap. 4.5) ;

— aparatele să fie omologate, iar pentru cele din import se va face asimilarea caracteristicilor acestora cu cele ale produselor indigene omologate [32] ;

— caracteristicile electrice nominale să aibă valori identice sau acoperitoare cu mărimile electrice corespunzătoare, pe care trebuie să le satisfacă în regim de funcționare normal.

În cele ce urmează, nu se va mai reveni asupra primelor trei aspecte enumerate mai sus, acestea fiind presupuse ca luate în considerare, la fel ca unele caracteristici nominale mai generale, printre care se enumeră, tensiunea, frecvența și numărul de faze.

4.10.2. ALEGEREA PROTECȚIEI RECEPTOARELOR ȘI CIRCUITELOR

Variantele de echipare a circuitelor cu dispozitive de protecție și comutație, conforme cu condițiile de prevedere a protecției (v. subcap. 4.10), sînt prezentate în figura 4.39. Se constată că există un număr de trei situații posibile :

— pentru un receptor *m1* cu regim posibil de funcționare la suprasarcină (fig. 4.39, *a*) circuitul cuprinde siguranțele fuzibile *e1* pentru protecția la scurtcircuit, releul termic *e2* pentru protecția la suprasarcină și contactorul *c1* care asigură comutația, precum și întreruperea regimului de

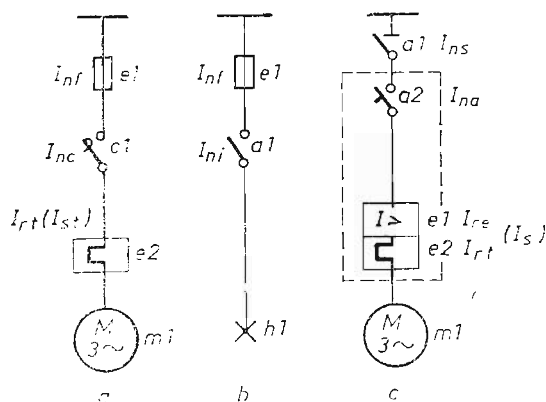


Fig. 4.39. Variantele de echipare a circuitelor cu dispozitive de protecție și comutație:
a — cu siguranțe fuzibile și contactor cu relee termice; *b* — cu siguranțe fuzibile; *c* — cu întreruptor automat.

suprasarcină cînd primește comanda de la *e2*. Cînd comutația circuitului se realizează mai rar și receptorul *m1* funcționează corelat cu alte receptoare (de ex. în cadrul aceluiași utilaj), contactorul *c1* poate fi înlocuit printr-un întreruptor manual, urmînd ca releul termic *e2* să aibe legat contactul de protecție în circuitul de comandă al contactorului comun;

— pentru un receptor *h1* la care regimul de suprasarcină nu este posibil (fig. 4.39, *b*), circuitul cuprinde numai siguranțele *e1* și întreruptorul manual *a1*, cu rol de comutație. La receptoare de iluminat sau prize, siguranțele *e1* pot fi înlocuite prin întreruptoare automate mici;

— pentru un receptor protejat printr-un întreruptor automat *a2* (fig. 4.39, *c*), circuitul mai cuprinde în afara declanșatoarelor sau releelor electromagnetice *e1* și termice *e2*, care de obicei intră în compunerea întreruptorului automat și întreruptorul manual *a1* cu rol de separator.

În timp ce siguranțele fuzibile, întreruptoarele automate și separatoarele se dispun în cadrul tabloului de distribuție de la care se ramifică circuitul respectiv, contactoarele și întreruptoarele manuale cu rol de comutație se pot dispune după caz, fie la tablou, fie în vecinătatea receptorului. Siguranțele fuzibile *e1* din figura 4.39, *a* și *b* pot asigura o separare vizibilă și sigură a circuitului prin extragerea patronului fuzibil.

Pe anumite circuite se pot monta și aparate speciale de pornire (de ex. comutatoare stea-triunghi), a căror alegere se va face similar cu a dispozitivelor de comutație considerate.

În continuare, alegerea aparatelor se organizează nu după configurația circuitului, ci după felurile protecțiilor asigurate. Principalele mărimi caracteristice ale aparatelor, care intervin în alegerea lor, sînt indicate alăturat simbolurilor acestora în figura 4.39.

1) *Dimensionarea protecției la suprasarcină*

Releul termic pentru protecția receptorului împotriva curenților de suprasarcină se alege în funcție de curentul de serviciu I_s, care trebuie să îndeplinească condiția

$$I_s \geqslant I_n, \tag{4.12}$$

I_n fiind curentul nominal al receptorului protejat. Gama curenților de serviciu ai releelor termice de fabricație internă este indicată în subcapitolul 4.5.

Reglajul releului termic ales, caracterizat prin curentul de reglaj I_{rt}, trebuie să țină cont pe de o parte de domeniul curenților de suprasarcină admiși de receptor, iar pe de altă parte de domeniul reglajului posibil al releului termic, din punct de vedere constructiv.

Conform primei condiții, curentul de reglaj trebuie să aparțină intervalului

$$I_{rt} = (1,0 \ldots 1,2)I_n, \tag{4.13}$$

fiind de preferat reglajul releului termic, pe curentul nominal al receptorului sau cît mai apropiat de acesta [32].

În cazul receptoarelor dimensionate pentru un regim de lucru intermitent, în locul curentului nominal I_n, din relațiile (4.12) și (4.13) se va considera curentul cerut I_c (v. subcap. 4.6).

Cea de-a doua condiție, a posibilității concrete de reglaj, este determinată de tipul constructiv al aparatului. Astfel pentru releele termice tip TSA domeniul reglajului posibil este, în general

$$I_{rt} = (0,6 \ldots 1)k_{t^o}I_s, \tag{4.14}$$

în care k_{t^o} este un coeficient de corecție funcție de temperatură, avînd valoarea $k_{t^o} = 1$ dacă temperatura mediului ambiant este în intervalul $t^0_a =$ $= (10 \ldots 35)\,^\circ C$ și valori conform tabelului 4.14, pentru temperaturi în afara intervalului respectiv. Dacă temperatura mediului este variabilă în cursul aceleiași zile este indicat să se ia $k_{t^o} = 1$, iar releul termic și receptorul să fie în aceeași încăpere, pentru a asigura sensibilitatea necesară a protecției.

Pentru declanșatoarele termice ale întreruptoarelor USOL și cele tip *Ksi* ale întreruptoarelor OROMAX, domeniul de reglaj este

$$I_{rt} = (0,8 \ldots 1,25)k_{t^o}I_s, \tag{4.15}$$

iar pentru declanșatoarele termice tip *H* (pentru OROMAX) —

$$I_{rt} = (0,5 \ldots 1)k_{t^o}I_s\,; \tag{4.16}$$

valorile coeficienților de corecție pentru aceste declanșatoare nu se indică în mod explicit, considerîndu-se suficientă precizarea domeniului de reglaj la diferite temperaturi, conform tabelelor 4.17 și 4.19.

Un reglaj mai precis se obține cînd se folosesc diviziunile marcate pe aparat, ca de exemplu la jumătatea intervalului sau diviziunile de cîte o zecime din curentul de serviciu.

În final se alege un curent de reglaj, care să aparțină intersecției dintre domeniile de valori definite de relația (4.13) și una dintre relațiile (4.14), (4.15) sau (4.16) și să se respecte condițiile suplimentare expuse mai sus.

2) *Dimensionarea protecției la scurtcircuit*

Aceasta constă în stabilirea curentului nominal al fuzibilului sau a curenților de serviciu și reglaj pentru releele sau declanșatoarele electromagnetice.

Curentul nominal al fuzibilului I_{nf} se determină în baza următoarelor condiții:

— siguranțele fuzibile (lente sau rapide) trebuie să suporte curentul de durată al receptorului

$$I_{nf} \geq I_n\,; \tag{4.17}$$

— siguranțele fuzibile trebuie să reziste la acțiunea curentului de pornire pe toată durata sa, care se exprimă în cazul siguranțelor cu topire rapidă prin relația

$$I_{nf} \geqslant \frac{I_p}{c}, \tag{4.18}$$

în care c este un coeficient de siguranță egal cu 2,5 pentru porniri rare și ușoare (durata pornirii este 5 s) ; $c = (1,6 \ldots 2)$ pentru motoarele cu pornire grea și de durată (timpul de pornire 5 ... 10 s) sau pentru motoarele cu porniri ușoare dar dese ; $c = 1,5$ pentru porniri foarte grele (durata pornirii >10 s). Îndeplinirea acestei condiții presupune și satisfacerea condiției de a rezista sub acțiunea suprasarcinilor accidentale de scurtă durată ;

— protecția la scurtcircuit prin siguranțe fuzibile trebuie să fie selectivă cu protecția la suprasarcină prin relee termice, ceea ce înseamnă ca la stabilirea curentului nominal al fuzibilului să se aibă în vedere relațiile (4.10) și (4.11) sau valorile minime recomandate în tabelul 4.29.

Nomograma din figura 4.40 permite dimensionarea siguranțelor fuzibile pentru protecția circuitelor în conformitate cu condițiile (4.17) și (4.18). Sensul de parcurgere al nomogramei este cel indicat prin săgeți. Prima mărime intermediară de calcul o reprezintă curentul nominal I_n al receptorului, determinat pe baza mărimilor nominale P_n, U_n, $\cos\varphi_n$ și η_n ; în continuare, se determină curentul de pornire I_p, iar curentul nominal se rabate după dreapta $DA_n = 100\%$. În cadranul stînga-jos se obține curentul nominal al fuzibilului I_{nf}, prin intersecția scării date de gama valorilor normalizate, cu dreptele corespunzătoare celor două valori caracteristice I_n și I_p/c, conform relațiilor (4.17) și (4.18) ; se alege I_{nf} corespunzător treptei celei mai mari intersectate.

Nomograma mai permite obținerea curentului cerut I_c, pentru un singur receptor sau un grup de receptoare identice.

Curentul de serviciu I_s al releului sau declanșatorului electromagnetic este identic cu cel al dispozitivului de protecție termic, deoarece acestea se fabrică de obicei asociate, sub forma blocurilor de relee sau a declanșatoarelor. Pentru a corespunde condițiilor de funcționare, curentul de serviciu al releului (declanșatorului) electromagnetic trebuie să se încadreze în domeniul definit de relația :

$$I_s \geqslant \frac{k_{pe}}{k_{re}} I_p, \tag{4.19}$$

în care I_p este curentul de pornire al receptorului alimentat prin circuitul protejat ;

k_{pe} — coeficient de siguranță la pornire, cu valori în intervalul (1,2 ... 1,4) pentru relee și respectiv (1,4 ... 1,6) pentru declanșatoare ;

k_{re} — coeficientul domeniului de reglaj, avînd valori diferite în funcție de tipul releului sau declanșatorului.

Pentru principalele tipuri de întreruptoare cu releee sau declanșatoare electromagnetice, coeficientul domeniului de reglaj are următoarele valori :

— $k_{re} = 3 \ldots 6$ în cazul releelor electromagnetice ale întreruptoarelor CAR și AMT ;

— $k_{re} = 3 \ldots 10$ pentru întreruptoare DITA ;

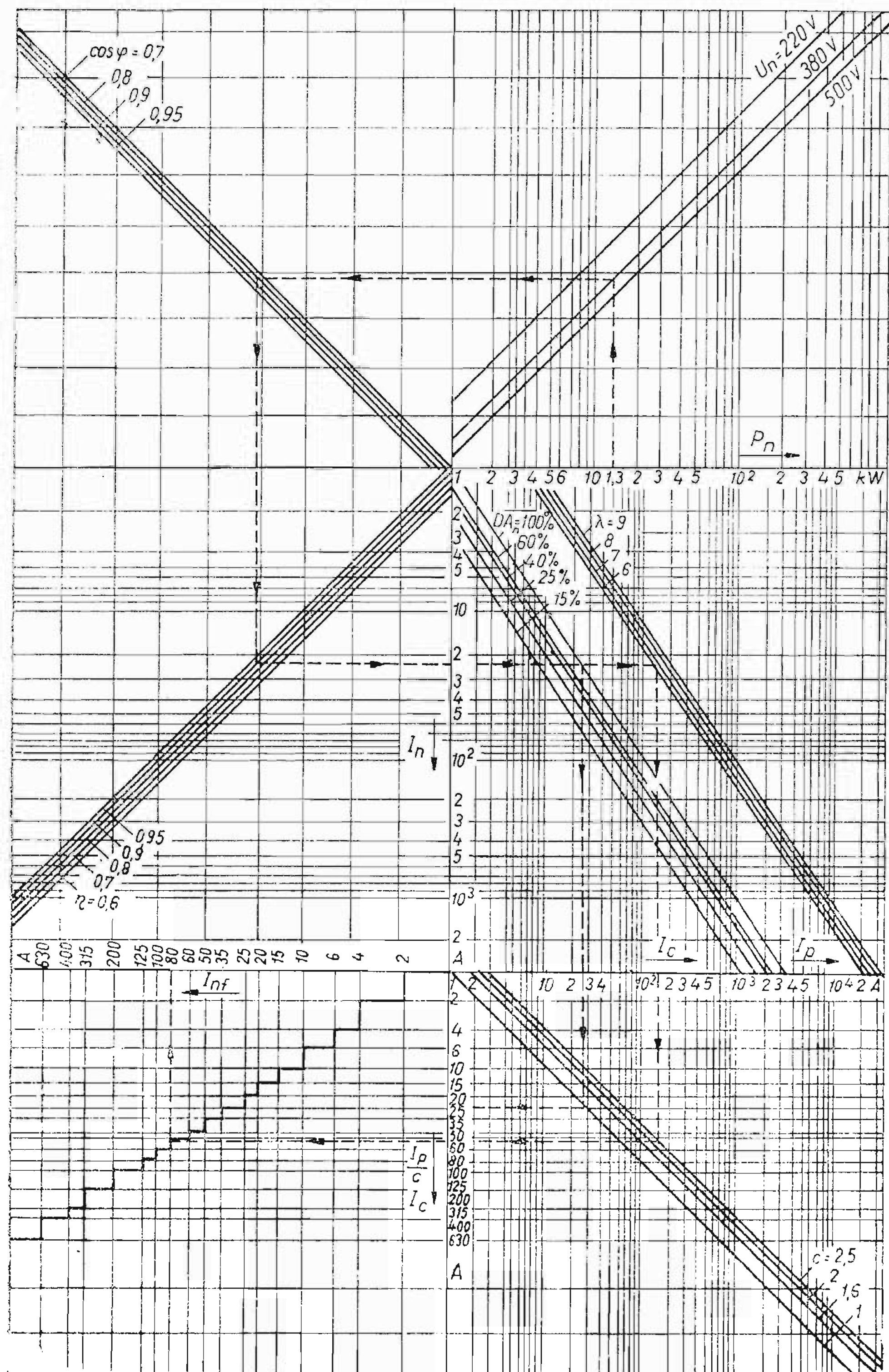


Fig. 4.40. Nomogramă pentru calculul curenţilor nominali, ceruţi şi de pornire şi alegerea siguranţelor fuzibile de protecţie a circuitelor.

— $k_{re} = 10$ pentru declanşatoarele montate în USOL 100 şi USOL 250, respectiv $k_{re} = 5 \ldots 10$ pentru declanşatoarele montate în USOL 500 şi USOL 800 (v. tab. 4.12);

— $k_{re} = 6,7$ sau 8 pentru declanşatoarele tip H şi $k_{re} = 4 \ldots 8$ pentru declanşatoarele Ksi ale întreruptoarelor tip OROMAX (v. tab. 4.14);

— $k_{re} = 2 \ldots 4$ pentru releele electromagnetice ale întreruptoarelor de curent continuu.

Deoarece dispozitivele de protecţie termice se vor regla pentru protecţia la suprasarcină, a doua condiţie care trebuie impusă la alegerea curentului de serviciu I_s este

$$I_s \geqslant I_c. \tag{4.20}$$

Dacă curentul de reglaj I_{re} al dispozitivelor electromagnetice de protecţie are o singură valoare (reglaj fix făcut de furnizor), atunci se verifică îndeplinirea condiţiei de nedeclanşare la curentul de pornire cu relaţia:

$$I_{re} \geqslant k_{pe} \cdot I_p, \tag{4.21}$$

iar dacă se dispune de un domeniu de valori pentru coeficientul k_{re} al domeniului de reglaj şi reglajul este posibil la diferite valori

$$I_{re} = k_{re} I_s, \tag{4.22}$$

atunci se alege acea valoare I_{re} care să verifice relaţia (4.21).

3) *Alegerea aparatelor de comutaţie*

Contactoarele şi întreruptoarele automate propriu-zise (fără relee) se aleg ţinînd seama de valorile nominale ale tensiunii, de curentul I_{nc}, respectiv I_{na} al contactelor principale

$$I_{nc} \geqslant 1,1 I_n, \tag{4.23}$$

în care I_n este curentul nominal al receptorului, de capacitatea şi frecvenţa de conectare şi de deconectare în regim normal şi accidental, de tensiunea de serviciu a bobinei de acţionare; toate aceste caracteristici trebuie să satisfacă mărimile nominale şi de serviciu ale circuitelor deservite.

Separatoarele se aleg pe baza tensiunii şi curentului lor nominal, care trebuie să aibă valori cel puţin egale cu ale circuitelor deservite. Pentru separatoarele avînd curenţi nominali mai mari de 1 000 A (la care furnizorul indică valorile maxime admise ale curenţilor de stabilitate termică şi dinamică) este necesar să se facă verificarea lor la scurtcircuit.

Întreruptoarele neautomate (cu pîrghie, cu manetă sau pachet) se aleg de asemenea pe baza tensiunii şi curentului lor nominal, dar ţinînd seama şi de curenţii de conectare şi deconectare în regim normal de funcţionare (manevra acestor aparate nu este admisă în timpul unui scurtcircuit). În mod obişnuit valoarea curenţilor de închidere şi deschidere a acestor aparate este mai mică decît valoarea curenţilor nominali.

Se recomandă ca aparatele de comutaţie să fie astfel montate (v. fig. 4.39), încît contactele lor mobile să nu fie sub tensiune atunci cînd aparatele sînt deschise şi să nu se poată închide sau deschide sub efectul vibraţiilor, la lovirea aparatelor sau datorită greutăţii proprii a părţilor mobile [32]. Aceste contacte trebuie să întrerupă simultan toate conductele de fază ale circuitului (trifazat, bifazat sau monofazat) pe care îl deservesc.

Întreruperea conductei de nul de lucru se admite numai la instalațiile în care aceasta nu este utilizată și pentru protecție.

Pentru curenți mici, sub 63 A, se pot alege fie întreruptoare cu pîrghie, fie de tip pachet, în funcție de caracteristicile lor corelate cu considerentele de gabarit și de protecție a omului. Astfel întreruptoarele pachet au gabarit redus (recomandate la tablouri mici, de ex. cele capsulate) și curent de rupere mare. Întreruptoarele cu pîrghie au poziții clare de conectare-deconectare, fiind indicate în special din punctul de vedere al protecției împotriva atingerilor accidentale directe.

Aparatele de conectare folosite pentru circuitele electrice ale lămpilor fluorescente se recomandă [32] să aibă un curent nominal de minimum 10 A.

4.10.3. ALEGEREA PROTECȚIEI COLOANELOR

Principalele variante de echipare a coloanelor cu dispozitive de protecție și comutație, prezentate în figura 4.41, sînt :

— coloană protejată la plecare prin siguranțele fuzibile *e1* și prevăzută la intrarea în tabloul de distribuție *TD* alimentat cu un separator *a1* (fig. 4.41, *a*) ;

— coloană protejată prin întreruptorul automat *a2* care realizează o dublă protecție la scurtcircuit și la suprasarcină, fiind prevăzută cu separatoarele *a1* și *a3*, la plecare, respectiv la intrarea în tabloul de distribuție alimentat (fig. 4.41, *b*).

Ca dispozitive cu rol de separator pot servi și întreruptoarele neautomate (cu pîrghie, cu manetă) sau comutatoarele (pachet). Prevederea lor este necesară, în general, pentru a se asigura controlul vizual direct al separației și în special, la intrarea în tablourile de distribuție, conform [32].

Coloane avînd configurațiile din figura 4.41 fac legătura între tabloul general și tablourile principale, între tabloul principal și cele secundare sau între coloane magistrale și tablouri secundare. Echipări asemănătoare cu cele din figura 4.41, *a* și *b* se recomandă pentru circuitele de utilaj, cu deosebirea că, întreruptoarele de la intrările tablourilor de utilaj (*a1*, respectiv *a3*) pot lipsi, datorită faptului că tablourile de utilaj sînt prevăzute, în general, cu întreruptoare generale la intrare.

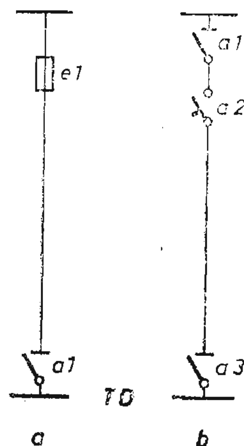


Fig. 4.41. Variantele principale de echipare ale coloanelor:
a — cu siguranțe fuzibile ;
b — cu întrerupter automat.

Alte variante mai particulare pentru schemele de distribuție ale coloanelor sînt prezentate în figurile 4.30 și 4.31 (v. par. 4.8.1) la care, în conformitate cu condițiile de prevedere a protecției, se montează aparate de protecție împotriva curenților de scurtcircuit la intrarea în tablourile alimentate (la capătul coloanei, considerînd sensul de distribuție a energiei electrice).

Alegerea aparatelor de comutație care intră în compunerea echipamentului electric al coloanelor se face în baza precizărilor generale de la paragraful 4.10.1 și a indicațiilor date în cadrul paragrafului 4.10.2. Particularități apar numai la dimensionarea protecțiilor.

a) *Protecția la scurtcircuit* constituie protecția principală a coloanelor.

Dacă protecția este realizată prin siguranțe fuzibile (fig. 4.41, *a*), curentul nominal al acestora se determină cu relațiile

$$I_{nf} > I_c;$$

$$I_{nf} \geqslant \frac{I_{vt}}{c} + I_{vp}, \qquad (4.24)$$

similare relațiilor (4.17), respectiv (4.18), din cazul protecției circuitelor. După cum se observă din relația (4.24), numai componenta tranzitorie I_{vt} (v. rel. 4.7) a curentului de vîrf se reduce prin împărțire la coeficientul de siguranță c.

Avînd în vedere expresiile concrete (4.8) și (4.9) ale curentului de vîrf, relația (4.24) se detaliază în următoarele expresii:

$$I_{nf} \geqslant \frac{\sum_{j=1}^{k} I_{pj}}{c} + \sum_{j=k+1}^{n} I_{cj}, \qquad (4.25)$$

respectiv

$$I_{nf} \geqslant \frac{I_{pM}}{c} + \sum_{j=1}^{n-1} I_{cj}, \qquad (4.26)$$

în care semnificațiile mărimilor sînt cele definite la relațiile (4.8), (4.9) și (4.18).

Curentul de serviciu I_s al declanșatoarelor sau releelor de protecție se alege similar, ca în cazul circuitelor, cu deosebirea că în locul curentului de pornire, din relația (4.19), se utilizează curentul de vîrf

$$I_s \geqslant \frac{k_{pe}}{k_{re}} I_v; \qquad (4.27)$$

$$I_s \geqslant I_c,$$

coeficienții k_{ps} și k_{rs} avînd aceleași semnificații și valori.

Reglajul releelor electromagnetice se stabilește în mod identic la valoarea

$$I_{re} = k_{re} I_s, \qquad (4.28)$$

în care k_{re} poate avea o singură valoare sau un domeniu de valori (v. par. 4.10.2, pct. *b*) și se verifică la condiția de nedeclanșare pentru curentul de vîrf

$$I_{re} \geqslant k_{pe} I_v. \qquad (4.29)$$

Se recomandă ca alegerea sau reglarea dispozitivelor de protecție la scurtcircuit, după relațiile (4.24), respectiv (4.29), să se efectueze cît mai aproape de limita inferioară admisă [32].

b) *Reglarea protecției la suprasarcină* se face numai pentru coloanele protejate la scurtcircuit prin întreruptoare automate (fig. 4.41, *b*).

În cazul coloanelor, curentul de reglaj al releului termic este necesar să se încadreze în intervalul

$$I_{rt} = (1,0 \ldots 1,2)\, I_c, \qquad (4.30)$$

care definește domeniul curenților de suprasarcină ai coloanelor.

În ceea ce priveşte reglajul posibil, acesta se stabileşte conform relaţiilor (4.14), (4.15) sau (4.16).

Curentul de reglaj se obţine şi în cazul coloanelor prin intersecţia domeniului de valori dat de relaţia (4.30) cu domeniul corespunzător reglajului posibil, în baza aceloraşi indicaţii de la protecţia receptoarelor (v. par. 4.10.2, pct. *a*). Se menţine valabilitatea recomandării de mai sus, ca reglajul să se facă apropiat de limita inferioară admisă de relaţia (4.30).

Definitivarea protecţiei coloanelor se poate face numai după analiza selectivităţii acesteia în raport cu dispozitivele de protecţie cele mai mari, de pe plecările tablourilor de distribuţie alimentate. De aceea, este indicat ca în alegerea protecţiei coloanelor, să se urmeze succesiunea : circuite de utilaj, coloane secundare, coloane principale, magistrale.

4.11. ALEGEREA CONDUCTELOR ELECTRICE

4.11.1. PRECIZĂRI GENERALE

Alegerea conductelor electrice implică examinarea şi respectarea unui şir de posibilităţi şi condiţii, care se încheie prin determinarea corespunzătoare a secţiunii conductoarelor.

a) Materialul conductoarelor, utilizate în instalaţiile electrice de joasă tensiune, poate fi : cuprul, aluminiul, oţelul-aluminiu şi oţelul.

Folosirea cuprului în instalaţiile electrice industriale sub formă de conducte neizolate şi izolate, bare sau cabluri, se permite [32] numai în următoarele situaţii :

— la circuitele care alimentează receptoare de importanţă deosebită cum sînt pompele de incendiu, consumatorii de siguranţă din centrale electrice, corpurile instalaţiei de iluminat de siguranţă pentru evacuare de tip 1 şi 2 (v. cap. 5), dar numai dacă secţiunea conductoarelor de aluminiu ar rezulta mai mică de 10 mm^2 ;

— la circuitele care alimentează receptoare amplasate în medii cu pericol de explozie (în cazurile precizate în prescripţiile specifice) ;

— în încăperi şi în spaţii din exterior cu mediu coroziv, în cazurile în care stabilitatea chimică a aluminiului sau oţelului nu este corespunzătoare şi numai dacă instalaţiile nu pot fi realizate în execuţie etanşă ;

— la instalaţiile de pe utilaje mobile (de ex. pe macarale, poduri rulante, vibratoare etc.) ;

— la instalaţiile de pe utilaje supuse şocurilor sau vibraţiilor permanente, care se pot transmite conductelor electrice (de ex. de pe cajele laminoarelor) ;

— la instalaţiile de protecţie prin legare la pămînt sau la nul, conform celor indicate în [60, 61] ;

— la circuitele de comandă, automatizare, măsură şi semnalizare, cu excepţia circuitelor de alimentare cu curent operativ a tablourilor de comandă, atunci cînd secţiunea conductoarelor din aluminiu rezultă mai mare de 10 mm^2 sau a unor receptoare electrice mai puţin importante, prevăzute numai cu comandă locală şi care nu fac parte din sistemul de automatizare a instalaţiei respective.

De asemenea, folosirea conductelor electrice de orice tip cu conductoare din cupru se limitează numai în zonele în care se impune acest lucru.

În afara situațiilor de mai sus, se folosesc conductoare de aluminiu. Conductoarele de oțel-aluminiu sînt destinate liniilor electrice aeriene, iar cele de oțel — instalațiilor de protecție (prin legare la pămînt, împotriva trăsnetelor).

b) Felul izolației trebuie luat în considerare în corelație cu categoriile de încadrare a încăperii sau a locului de montare din punct de vedere al caracteristicilor mediului și al pericolului de incendiu și explozie, avînd în vedere și dezideratul de a se utiliza cu precădere izolații din materiale plastice, apreciate ca greu combustibile [32].

c) Domeniul de utilizare (v. subcap. 4.5) reprezintă un criteriu fundamental pentru alegerea conductelor. Din acest punct de vedere interesează în principal următoarele tipuri de conducte :

— pentru transportul energiei electrice (neizolate sau izolate) ;
— pentru instalații fixe ;
— pentru instalații mobile ;
— pentru ascensoare ;
— pentru branșamente la construcții industriale ;
— pentru sudare electrică ;
— de comandă, măsură, semnalizare și control.

b) Modul de montare se corelează cu tipul conductei din punct de vedere al domeniului de utilizare, cu felul izolației și cu categorii de încadrare a încăperii sau a locului de montare [35].

În cazul barelor, modul de montare poate fi :

— pe izolatoare, în execuție deschisă ;
— pe izolatoare, în execuție acoperită (canal, șanț) ;
— protejat în cutii ;
— capsulat.

Conductele neizolate se montează pe izolatoare, iar cele izolate — fie pe izolatoare, fie în tuburi sau țevi de protecție. În ceea ce privește tuburile sau țevile de protecție, acestea pot fi amplasate ;

— pe construcție ;
— pe console ;
— îngropat.

Se recomandă utilizarea cu prioritate a tuburilor din materiale plastice, cu excepția interdicțiilor menționate în [32].

Cablurile electrice se pot instala în următoarele feluri :

— aparent pe construcție ;
— pe console ;
— îngropat în tub ;
— canal, tunel, pod ;
— canal cu nisip.

În general, trebuie să se mai cunoască dacă montarea se face în interior, exterior sau sub tencuială.

Modul de montare influențează într-o măsură hotărîtoare condițiile de răcire ale conductoarelor și prin aceasta alegerea secțiunii, determinînd în același timp, tehnologia de execuție a instalației.

c) Numărul conductoarelor pe anumite tronsoane se determină din schema de alimentare și schema cu amplasamente. Interesează astfel numă-

rul conductelor dintr-un tub, al conductoarelor dintr-un cablu sau cordon şi al barelor în paralel pe pol sau fază.

f) Frecvenţa curentului (curent continuu sau alternativ) se cere specificată mai ales în cazul barelor şi cablurilor.

g) Secţiunea minimă admisă pentru conductoare este prevăzută prin normativ [32], fiind obligatorie chiar dacă din calculele de încălzire sau a pierderilor de tensiune rezultă secţiuni inferioare.

În tabelul 4.32 sînt indicate secţiunile minime admise ale conductelor utilizate în interiorul clădirilor, iar în tabelul 4.33 — pentru cele montate în exterior, pe pereţii clădirilor.

Tabelul 4.32

Secţiunile minime admise pentru conductele utilizate în interiorul clădirilor

Nr. crt.	Destinaţia conductelor	Secţiunile minime ale conductoarelor [mm²]	
		cupru	aluminiu
1	2	3	4
1	Pentru interiorul corpurilor de iluminat	0,75	—
2	Pentru un singur corp de iluminat	1	2,5
3	Pentru circuite de lumină	1,5	2,5
4	Pentru o singură priză	1,5	2,5
5	Pentru circuite de priză	2,5	4
6	Pentru circuitele primare ce alimentează firmele cu lămpi cu descărcări	2,5	4
7	Pentru circuite de forţă	1,5	2,5
8	Pentru circuitele monofazate, conductorul de nul va avea aceeaşi secţiune ca şi conductorul de fază	—	—
9	Pentru circuite de lumină trifazate cu patru conductoare, pînă la o secţiune de 16 mm² a conductoarelor de fază, secţiunea conductorului de nul de lucru va fi egală cu aceea a conductoarelor de fază.	—	—
10	Pentru circuite de lumină trifazate cu patru conductoare, începînd cu secţiunea conductorului de fază de 25 mm², secţiunile minime pentru conductorul nul de lucru vor fi:		
	— pentru 25 mm²	16	16
	— pentru 35 mm²	16	16
	— pentru 50 mm²	25	25
	— pentru 70 mm²	35	35
	— pentru 95 mm²	50	50
	— pentru 120 mm²	70	70
	— pentru 150 mm²	70	70
	— pentru 185 mm²	95	95
	— pentru 240 mm²	120	120
	— pentru 300 mm²	150	150
	— pentru 400 mm²	185	185
11	Pentru coloane din clădiri de locuit, conductorul de protecţie:		
	— la coloane colective,	6 sau OL 100 mm²	—
	— la coloane individuale	4	—

1	2	3	4
12	Pentru circuite din apartamente, conductorul de protecție	2,5	—
13	Pentru coloane între tabloul principal și secundar, se va determina prin calcul, dar minim	2,5	4
14	Pentru conducte de legătură dintre contor și tabloul de distribuție al instalației interioare din locuințe, se va determina prin calcul, dar minimum:		
	— pentru rețele cu tensiune de 120 V	10	10
	— pentru rețele cu tensiune de 220 V	6	6
15	Pentru instalațiile mononul:		
	— conductorul de fază pt. iluminat și prize	1,5	2,5
	— conductorul de nul comun	2,5	2,5
	— conductorul de legătură între contor și tabloul de distribuție al instalației	2,5	4
16	Pentru conducte de legătură din interiorul tablourilor de distribuție și automatizare:		
	— legături lipite	1	—
	— legături cu cleme sau la borne	1,5	2,5
17	Pentru circuitele secundare ale transformatoarelor de curent pentru măsură	2,5	—
18	Pentru cordoanele de alimentare ale utilajelor mobile sau portative, secțiunea conductorului va fi pentru un consum de curent al aparatului:		
	— pînă la 2 A	0,50	
	— pînă la 6 A	0,75	—
	— peste 6 A pînă la 10 A	1,0	—
	— peste 10 A pînă la 16 A	1,5	—
	— peste 16 A pînă la 25 A	2,5	—
	— peste 25 A pînă la 32 A	4	—
	— peste 32 A pînă la 40 A	6	—
	— peste 40 A pînă la 63 A	10	—
19	Pentru cordoanele de alimentare ale corpurilor de iluminat portative, secțiunea conductorului va fi pentru un consum de curent al aparatului:		
	— pînă la 4 A	0,5	—
	— peste 4 A pînă la 10 A	0,75	—
20	Pentru instalații A.M.C. destinate unor receptoare sau instalații importante (vezi art. 4.30)	1	—
21	Pentru legături electrice A.M.C. între aparatele montate într-un echipament și pentru legăturile dintre aceste aparate și conectori	0,75	—
22	Cabluri de energie	1,5	4
23	Cabluri de comandă, control	1,5	—

Tabelul 4.33

Secțiunile (diametrele) minime admise pentru conductele montate în exterior, pe pereții clădirilor

Nr. crt.	Destinația conductelor	Secțiunile (diametrele) minime ale conductoarelor		
		Cupru [mm²]	Aluminiu [mm²]	Oțel [mm]
1	Pentru instalații aeriene pe izolatoare, montate pe suporturi incombustibile fixate pe pereți, în exteriorul clădirilor, la distanță de maximum 4 m între suporturi	4	10	Ø 3
2	Pentru interiorul corpului de iluminat	1	—	—

Observații. Utilizarea conductoarelor masive în exteriorul clădirilor pe pereți se admite pînă la cel mult 16 mm² în cazul cuprului, 10 mm² în cazul aluminiului și Ø6 mm în cazul oțelului.

4.11.2. DETERMINAREA SECȚIUNII CONDUCTOARELOR

Pentru a nu periclita starea izolației conductelor electrice, este necesar ca temperatura acestora să nu depășească anumite valori maxim admise. Luînd ca punct de referință temperatura pe conductor, valorile maxim admise $t^0_{C\,adm}$ pentru diversele conducte de joasă tensiune sînt după cum urmează:

— bare de oțel, conducte cu izolație de PVC . . . . +70 °C;
— cabluri cu izolație și manta de PVC . . . . +70 °C;
— cabluri cu izolație de hîrtie, bare de cupru și aluminiu +65 °C;
— conducte și cabluri cu izolație din cauciuc . . . . +60 °C.

Solicitarea termică a conductelor este datorată curenților de sarcină de durată (regim permanent), de suprasarcină de scurtă (la pornire) și lungă durată și de scurtcircuit.

Secțiunile conductoarelor electrice se dimensionează pentru a satisface condiția de stabilitate termică la încălzire în regim permanent sau intermitent (în funcție de regimul de funcționare al receptoarelor alimentate). Secțiunile determinate se verifică apoi la condițiile de încălzire în regim de scurtă durată (la curenții de vîrf), de pierdere de tensiune și de rezistență mecanică.

În regim permanent, cantitatea de căldură degajată în conductor prin efect Joule—Lenz este cedată integral, prin suprafața conductei, mediului ambiant, distribuția temperaturilor pe secțiunea conductei rămînînd constantă. Relația echilibrului este

$$I_C^2\,\rho\,[1 + k_\rho(t_C^0 - t_r^0)]\,\frac{l}{s} = \alpha A\,(t_{Ce}^0 - t_a^0), \qquad (4.31)$$

în care: I_C este curentul de durată prin conductor;
ρ — rezistivitatea conductorului la temperatura de referință $t_r^0 = 20\,°C$;
k_ρ — coeficientul de creștere a rezistivității cu temperatura;
t_C^0 — temperatura medie a conductorului;
l, s — lungimea și secțiunea conductorului;
α — transmisivitatea termică (coeficientul de transmitere a căldurii prin convecție și radiație) de la suprafața conductei;
A — suprafața (laterală) de cedare a căldurii;
t_{Ce}^0 — temperatura de la suprafața conductei;
t_a^0 — temperatura mediului ambiant.

Dacă se atribuie temperaturii medii a conductorului valorile maxim admise $t^0_{C\,adm}$ indicate mai sus, pe baza relației (4.31) se pot determina intensitățile maxime admise $I_{C\,adm}$ ale curenților în regim permanent pentru diverse tipuri de conducte

$$I_{C\,adm} = \sqrt{\frac{\alpha A\,(t_C^0 - t_a^0)}{\rho\,[1 + k_\rho(t^0_{C\,adm} - t_r^0)]\,\dfrac{l}{s}}}. \qquad (4.32)$$

În practică nu se lucrează cu relația (4.32), datorită dificultăților de apreciere a condițiilor de răcire în ansamblul lor, dată fiind diversitatea situațiilor de montare.

Intensitățile maxime admise $I_{c\,adm}$ pentru curenții în regim permanent sînt date în tabele (v. tab. 4.2 ... 4.5), pentru diferite tipuri de conducte, luînd în considerare o temperatură a mediului ambiant $t_a^c = 20 \ldots 35\,°C$ și anumite condiții de montare (deci de răcire). În cazul pozării conductelor în alte condiții decît cele indicate în tabele, se aplică corecții ale intensităților maxim admise, prin intermediul unor coeficienți de corecție, precizați în cele ce urmează. Pentru a se elimina eventualele reveniri în mersul de calcul, coeficienții de corecție se vor aplica în mod corespunzător asupra valorilor curenților ceruți, care trec în regim permanent prin conductoare, astfel încît alegerea secțiunii conductoarelor să se facă direct pe baza intensităților maxim admise din tabelele 4.3, 4.5, 4.7 și 4.8.

A. Determinarea secțiunii conductoarelor pentru a satisface condiția de stabilitate termică la încălzire în regim permanent sau intermitent (în funcție de regimul de lucru al consumatorilor și receptoarelor) se face cu relația

$$I_{c\,adm} \geqslant \frac{I_c}{aK}, \tag{4.33}$$

în care: I_c este curentul cerut (v. subcap. 4.6) de receptor sau de consumatorul de calcul;

a — coeficientul de corecție al regimului de lucru;

K — coeficientul de corecție al condițiilor de răcire, dependente de tipul conductei, de condițiile de instalare și de mediu.

Coeficientul de corecție al regimului de lucru are valoarea $a = 1$ pentru regimuri permanente și

$$a = \frac{0{,}875}{\sqrt{DA}} \tag{4.34}$$

pentru regimuri intermitente de lucru, cu durata totală a ciclului de minimum 10 minute și durata de funcționare de maximum 4 minute; DA reprezintă durata relativă de anclanșare (conectare), adică raportul dintre durata de funcționare și durata totală a ciclului. Aplicarea coeficientului supraunitar dat de relația (4.34) este admisă numai pentru conductoare de cupru cu secțiuni peste 10 mm² sau de aluminiu — peste 16 mm² [32], ceea ce revine la curenți ceruți în regim intermitent după cum umează:

— $I_c > 70$ A, dacă se folosesc conducte izolate cu PVC sau cauciuc;

— $I_c > 110$ A, dacă se folosesc conducte neizolate, cordoane sau cabluri în curent alternativ;

— $I_c > 140$ A, dacă se folosesc cabluri în curent continuu.

Pentru situațiile limită, cărora le-ar corespunde în urma corecției cu coeficientul a, secțiuni mai mici decît cele menționate mai sus, alegerea se va face considerînd în final $a = 1$.

Coeficientul de corecție K al condițiilor de răcire se determină în mod diferit, după tipul conductei.

a) În cazul conductelor neizolate și izolate, pozate la temperaturi ale mediului ambiant diferite de $+25\,°C$, coeficientul de corecție al condițiilor de răcire este

$$K = K_1, \tag{4.35}$$

în care K_1 este coeficientul de corecție pentru temperaturi ale mediului ambiant diferite de +25 °C, avînd valorile indicate în tabelul 4.34.

b) Pentru bare, intensitățile maxime admise (v. tab. 4.3) sînt valabile în următoarele condiții de funcționare și montaj :

— conductivitățile de referință sînt $\sigma_{CU} = 56\ m/\Omega mm^2$ pentru cupru și $\sigma_{AL} = 35{,}1\ m/\Omega mm^2$ pentru aluminiu ;

— barele dreptunghiulare sînt montate pe muchie, iar traseul este orizontal ;

— temperatura mediului ambiant barelor este de 35 °C, iar temperatura barelor este de 65 °C ;

— barele sînt montate distanțat, astfel încît efectul de vecinătate nu se manifestă ;

— altitudinea este de maximum 1 000 m ;

— disiparea căldurii se face în mod natural etc. [65].

În figura 4.42, sînt reprezentate două situații de amplasare a barelor în pachete și sînt indicate notații pentru mărimile caracteristice.

Alte condiții de funcționare și montaj se iau în considerare în relația

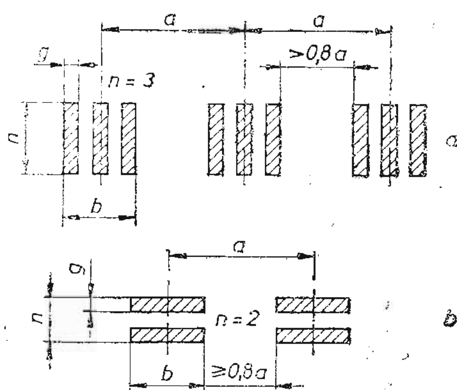


Fig. 4.42. Amplasarea barelor conductoare în pachete :

a — cîte trei bare cu grosimea pe orizontală ; *b* — cîte două bare cu lățimea pe orizontală.

Tabelul 4.34

Coeficientul de corecție K_1 a intensității maxime admise la conducte în funcție de temperatura admisă pe conductor și temperatura mediului ambiant [32]

Temperatura admisă pe conductor [°C]	Temperatura mediului ambiant [°C] +5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40	+45	+50	+55	+60
60 (conducte cu izolație din cauciuc)	1,250	1,195	1,135	1,070	1	0,926	0,845	0,757	0,655	0,535	—	—
70 (conducte neizolate, conducte cu izolație din PVC)	1,200	1,156	1,110	1,053	1	0,943	0,884	0,818	0,746	0,667	0,577	0,471

Notă. Dacă pe un traseu există porțiuni mai mari de 10 m care trec prin medii cu temperaturi diferite, se va aplica coeficientul de corecție corespunzător mediului cu temperatura cea mai ridicată.

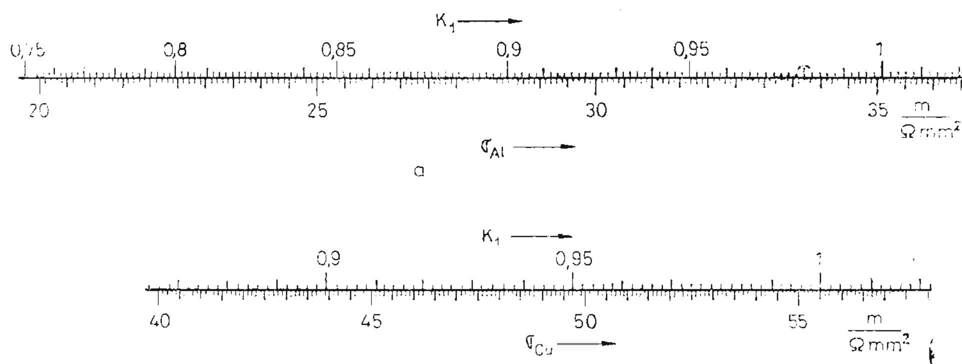


Fig. 4.43. Coeficientul de corecţie K_1 pentru variaţia conductivităţii barelor din: *a* — aluminiu; *b* — cupru.

(4.33), prin calcularea coeficientului de corecţie al condiţiilor de răcire cu formula:

$$K = K_1K_2K_3K_4K_5K_6 \qquad (4.36)$$

în care: K_1 este coeficientul de corecţie pentru variaţia conductivităţii barelor, indicat în figura 4.43;

K_2 — coeficient de corecţie pentru reducerea sarcinii la aşezarea barelor cu lăţimea pe orizontală sau pentru un traseu vertical mai lung de 2 m, dat în tabelul 4.35;

K_3 — coeficientul de corecţie pentru temperaturi ale mediului ambiant şi a barelor diferite de cele de referinţă, cu valori conform tabelului 4.36;

Tabelul 4.35

Coeficientul de corecţie K_2 pentru reducerea sarcinii la aşezarea barelor cu lăţimea pe orizontală sau pe un traseu vertical mai lung de 2 *m*

Numărul şi poziţia barelor	Lăţimea unei bare, [mm]	Coeficientul K_2 pentru bare	
		vopsite	nevopsite
2	50...200	0,85	0,80
3	50...80	0,85	0,80
	100...120	0,80	0,75
4	160 200	0,75 0,70	0,70 0,65
2	pînă la 200	0,95	0,90

Tabelul A 36

Coeficientul de corecție K_3 pentru modificarea sarcinii barelor în cazul altor temperaturi ale mediului ambiant decît 35°C și a altor temperaturi ale barelor decît 65°C [65]

Temperatura mediului ambiant [°C] \ Temperatura barelor [°C]	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
0	1,42	1,48	1,54	1,60	1,66	1,72	1,77	1,82	1,88	1,93	1,97	2,02	2,06	2,10	2,14	2,18
5	1,33	1,40	1,46	1,53	1,59	1,65	1,71	1,76	1,81	1,86	1,91	1,96	2,01	2,05	2,08	2,12
10	1,28	1,31	1,38	1,45	1,52	1,57	1,64	1,69	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	1,99	2,04	2,07
15	1,14	1,22	1,29	1,36	1,43	1,50	1,56	1,62	1,68	1,74	1,79	1,84	1,88	1,93	1,97	2,01
20	1,05	1,13	1,21	1,28	1,36	1,43	1,49	1,56	1,61	1,67	1,72	1,78	1,82	1,87	1,91	1,95
25	0,94	1,03	1,11	1,19	1,27	1,34	1,41	1,47	1,54	1,60	1,65	1,71	1,76	1,81	1,86	1,90
30	0,82	0,92	1,01	1,09	1,18	1,26	1,34	1,40	1,47	1,53	1,58	1,64	1,69	1,75	1,79	1,83
35	0,68	0,79	0,90	1	1,09	1,17	1,25	1,32	1,39	1,45	1,51	1,57	1,62	1,67	1,73	1,78
40	0,55	0,67	0,79	0,89	0,99	1,09	1,17	1,24	1,32	1,38	1,45	1,50	1,56	1,62	1,67	1,72
45	0,39	0,54	0,66	0,77	0,89	0,98	1,07	1,16	1,23	1,30	1,37	1,43	1,49	1,55	1,61	1,66
50	—	0,35	0,52	0,66	0,78	0,89	0,98	1,07	1,15	1,22	1,29	1,36	1,42	1,48	1,54	1,59
55	—	—	0,36	0,51	0,65	0,77	0,87	0,97	1,05	1,18	1,21	1,28	1,34	1,41	1,47	1,53
60	—	—	—	0,33	0,50	0,64	0,76	0,86	0,96	1,04	1,12	1,20	1,27	1,34	1,40	1,47
65	—	—	—	—	0,33	0,50	0,64	0,75	0,86	0,96	1,04	1,07	1,19	1,26	1,33	1,39

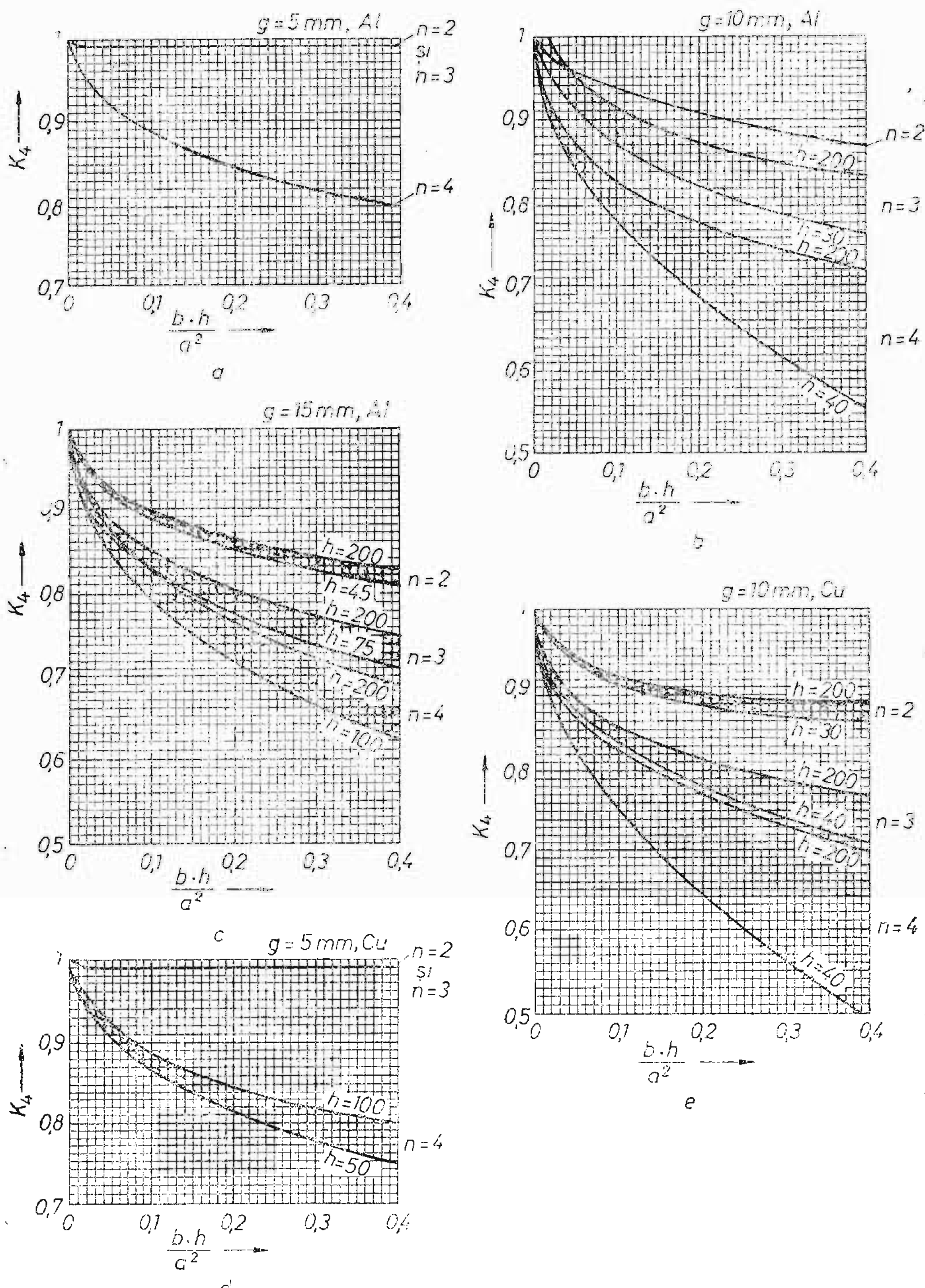


Fig. 4.44. Coeficientul de corecţie K_4 ţinînd seamă de efectul de vecinătate al curenţilor din bare dreptunghiulare amplasate la distanţe mici între ele:

a — la bare din Al, $g = 5$ mm; *b* — idem, $g = 10$ mm; *c* — idem, $g = 15$ mm; *d* — la bare din Cu, $g = 5$ mm; *e* — idem, $g = 10$ mm.

K_4 — coeficient de corecție ținînd seamă de efectul de vecinătate al curenților din bare amplasate la distanțe mici între ele, cu valori care se determină din graficele prezentate în figura 4.44;

K_5 — coeficient de corecție pentru altitudini mai mari de 1 000 m, indicat în tabelul 4.37;

Tabelul 4.37

Coeficientul de corecție K_5 pentru reducerea sarcinii barelor la altitudini peste 1000 m

Altitudine [m]	Coeficientul K_5 pentru instalații montate	
	în interior	în exterior
1000	1	0,98
2000	0,99	0,94
3000	0,96	0,89
4000	0,9	0,83

K_6 — coeficient de corecție pentru bare răcite prin curenți de aer, dat în tabelul 4.38 în funcție de viteza aerului de răcire.

Tabelul 4.38

Coeficientul de corecție K_6 pentru bare răcite prin curent de aer produs de instalații de ventilație mecanică sau naturală

Viteza aerului [m/s]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Coeficientul K_6	1,43	1,62	1,77	1,91	2,02	2,13	2,24	2,33	2,42	2,5

Observație. Se va ține seama și de coeficientul K_3 pentru funcționarea la temperatura ce se stabilește în capsulare.

Pentru barele avînd secțiuni diferite de cele indicate în tabele sau grafice, însă ale căror perimetre nu diferă sau diferă puțin ca formă și valoare de ale acestora, încărcările admisibile se pot determina cu aproximație cu relația

$$I_{Cadm_2} = I_{Cadm_1} \sqrt{\frac{p_2 \cdot s_2}{p_1 \cdot s_1}}, \qquad (4.37)$$

în care: I_{Cadm_2} este curentul admisibil al unei bare (dreptunghiulare sau țeavă) sau al unui pachet de n bare (dreptunghiulare) în paralel pentru care nu au putut fi aplicate direct corecțiile;

I_{Cadm_1} — curentul admisibil al unei bare sau al unui pachet de bare similare, pentru care corecțiile pot fi determinate direct din tabele sau grafice;

p_1, p_2 — perimetrele secțiunilor a cîte unei singure bare dintre cele care se găsesc, respectiv nu se găsesc în tabele sau grafice ;

s_1, s_2 — ariile secțiunilor corespunzătoare, conform semnificațiilor indicilor.

Relația (4.37) este aplicabilă barelor cu secțiuni dreptunghiulare avînd aceeași lățime și o grosime care diferă cu cel mult 50% de cea a secțiunilor din tabele, precum și barelor țeavă avînd același diametru exterior însă grosimea peretelui diferind cu cel mult 50% de cea a secțiunilor din tabele.

La barele capsulate, coeficientul de corecție calculat conform relației (4.36) se multiplică prin factorul 0,8, pentru a ține seamă de condițiile speciale de răcire.

c) În cazul cablurilor, aplicarea corecției referitoare la condițiile de răcire se face diferențiat, după natura mediului — pămînt, aer sau apă — în care se pozează cablurile.

Pentru cablurile pozate în pămînt, corecția se determină cu relația

$$K = K_{c1}K_{c2}K_{c3}, \tag{4.38}$$

în care: K_{c1} este coeficientul de corecție în funcție de rezistența termică specifică a solului, avînd valorile conform tabelului 4.39. Rezistențele termice specifice ale diverselor tipuri de soluri sînt indicate în tabelul 4.40 ;

Tabelul 4.39

Coeficienții de corecție K_{c1} la cabluri de 0,6/1 kV cu izolație de hîrtie sau PVC, în funcție de rezistența termică specifică a solului.

Caracteristici ale cablurilor	Gama de secțiuni [mm²]	Rezistența termică a solului [°C cm/W]						
		70	100	120	150	200	250	300
Cabluri cu un conductor (de c.c.) sau cu două conductoare	sub 25	1,09	1	0,95	0,88	0,80	0,73	0,69
	35... 95	1,11	1	0,94	0,87	0,78	0,71	0,66
	120...240	1,12	1	0,94	0,86	0,78	0,70	0,65
	300...500	1,13	1	0,93	0,86	0,77	0,69	0,65
Cabluri cu trei sau patru conductoare	sub 25	1,11	1	0,94	0,87	0,78	0,72	0,67
	35... 95	1,13	1	0,93	0,86	0,76	0,70	0,64
	120...240	1,14	1	0,93	0,85	0,75	0,69	0,63
	300...500	1,15	1	0,92	0,85	0,75	0,68	0,63
Cabluri monofazate în sistem trifazat, pozate alăturat sau în triunghi	sub 25	1,12	1	0,94	0,85	0,76	0,70	0,65
	35... 95	1,14	1	0,93	0,84	0,74	0,68	0,62
	120...240	1,15	1	0,93	0,83	0,74	0,67	0,61
	300...500	1,16	1	0,92	0,83	0,73	0,66	0,61

Tabelul 4.40

Rezistențe termice specifice pentru diferite tipuri de soluri

Tipul de sol	Rezistența termică specifică a solului [°C cm/W]
Teren umplut cu zgură, uscat	550
Teren obișnuit, uscat; nisip uscat	310
Nisip, 10% umiditate	105
Nisip, 20% umiditate	75
Nisip umed (saturat)	55
Pămînt nisipos, uscat	95
Pămînt nisipos, 8% umiditate	60
Teren nisipos, cu humă sau lut	65
Teren umed sau mlăștinos	50
Rocă dură (granit, bazalt etc.)	25
Rocă poroasă (calcar, gresie etc.)	45
Cuarț	11

K_{c2} — coeficientul de corecție în funcție de numărul cablurilor pozate alăturat în șanțuri sau tuburi dat în tabelul 4.41;

Tabelul 4.41

Coeficienți de corecție K_{C2} a curentului maxim admisibil în funcție de numărul cablurilor sau sistemelor trifazate de cîte trei cabluri monofazate la pozarea directă la pămînt [32]

Modul de pozare	Numărul cablurilor							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Cabluri de curent continuu și cabluri cu mai multe conductoare pozate alăturat în pămînt la 70 cm, cu distanță liberă între cabluri 7 cm	1	0,85	0,75	0,68	0,64	0,6	0,56	0,53
Sisteme trifazate de cîte trei cabluri monofazate pozate alăturat în pămînt la 70 cm, cu distanță liberă între cabluri 7 cm	1	0,82	0,74	0,68	—	—	—	—
Sisteme trifazate de cîte trei cabluri monofazate, pozate în triunghi cu distanța între sisteme de 25 cm.	1	0,85	0,77	0,72	—	—	—	—
Cabluri cu mai multe conductoare pozate în țevi separate din oțel sau alt material, așezate în linie.	0,82	0,74	0,7	0,67	0,65	0,63	0,60	0,58

K_{c3} — coeficientul de corecție în funcție de temperatura solului, dat în tabelul 4.42.

Coeficienţi de corecţie K_{c3} a curentului maxim admisibil pentru diferite temperaturi ale solului

Temperatura maximă a conductorului [°C]	Temperatura mediului ambiant [°C]					
	15	20	25	30	35	40
85	1,04	1	0,96	0,92	0,88	0,83
80	1,04	1	0,96	0,91	0,87	0,82
70	1,05	1	0,95	0,89	0,84	0,77
65	1,05(1*)	1	0,94	0,88	0,82	0,75
60	1,06	1	0,93	0,87	0,79	0,71

* În cazul cablurilor cu izolaţie în hîrtie

Temperatura solului se consideră egală cu valoarea medie a temperaturilor maxime din lunile de vară, la adîncimea de pozare. Dacă nu există date precise, această temperatură se adoptă astfel:

+24 °C — pentru regiunile de şes;

+15 °C — pentru regiunile de deal şi de munte.

Se consideră neglijabilă variaţia temperaturii solului, în funcţie de adîncimea de pozare, în domeniul 70 ... 120 cm. Pentru cablurile pozate mai aproape de nivelul solului decît 70 cm, se consideră o temperatură superioară cu 5 °C faţă de temperatura de calcul.

Pentru pozare alăturată în aer, în diferite moduri şi la temperaturi ale mediului ambiant diferite de +30 °C, coeficientul de corecţie al condiţiilor de răcire este

$$K = K'_{c1} K'_{c2}, \tag{4.39}$$

în care: K'_{c1} este coeficientul de corecţie în funcţie de modul de pozare, indicat în tabelul 4.43;
K'_{c2} — coeficientul de corecţie în funcţie de temperatura mediului ambiant, indicat în tabelul 4.44.

În cazul cablurilor expuse razelor solare, se va aplica suplimentar un coeficient de reducere egal cu 0,9.

Pentru cablurile de energie pozate în canale şi tuneluri aglomerate, se recomandă verificarea condiţiei ca temperatura calculată a conductoarelor să fie inferioară temperaturii maxime admisibile; mersul de calcul al temperaturii conductoarelor este indicat în [43].

Dacă pozarea se face în apă, se consideră $K = 1,15$.

Secţiunea se poate schimba la trecerea cablului din apă în pămînt sau în aer, în funcţie de rezultatele calculelor.

B. Determinarea secţiunii conductelor din condiţia de stabilitate termică la supracurenţii accidentali reprezintă o etapă de calcul, care se asociază celei corespunzătoare încălzirii în regim permanent (pct. **A**).

Tabelul 4.43

Coeficienţii de corecţie K'_{ci} la pozarea în aer liber, pe pereţi, grătare, paturi sau stelaje, la temperatura de +30°C

Modul de pozare a cablurilor	a) Cabluri în curent continuu şi cu mai multe conductoare în curent alternativ											
	Distanţa liberă între cabluri = d_{cablu} Distanţa faţă de perete ≥ 2 cm						Atingere reciprocă Atingere de perete					
	Numărul cablurilor						Numărul cablurilor					
	Figura	1	2	4	6	9	Figura	1	2	3	6	9
Cablu pe pardoseală sau pe fundul unui canal. Pozare alăturată		0,95	0,90	0,88	0,85	0,84		0,90	0,84	0,80	0,75	0,73
Cablu pe paturi (circulaţia aerului este împiedicată). Pozarea alăturată nr. grătare 1		0,95	0,90	0,88	0,85	0,84		0,95	0,84	0,80	0,75	0,73
2		0,90	0,85	0,83	0,81	0,80		0,95	0,80	0,76	0,71	0,69
3		0,88	0,83	0,81	0,79	0,78		0,95	0,78	0,74	0,70	0,68
6		0,86	0,81	0,79	0,77	0,76		0,95	0,76	0,72	0,65	0,66

Tabelul 4.43 (continuare)

Modul de pozare a cablurilor	a) Cabluri în curent continuu și cu mai multe conductoare în curent alternativ											
	Distanța liberă între cabluri = d_{cablu} Distanța față de perete ⩾ 2 cm						Atingerea reciprocă Atingerea de perete					
	Figura	Numărul cablurilor					Figura	Numărul cablurilor				
		1	2	4	6	9		1	2	3	6	9
Cablu pe grătare Pozare alăturată nr. grătare 1		1	0,98	0,96	0,93	0,92		0,95	0,84	0,80	0,75	0,73
2		1	0,95	0,93	0,90	0,89		0,95	0,80	0,76	0,71	0,69
3		1	0,94	0,92	0,89	0,88		0,95	0,78	0,74	0,70	0,68
6		1	0,93	0,90	0,87	0,80		0,95	0,76	0,72	0,68	0,66
Cablu pe stelaje sau pe perete Pozare unul sub altul		1	0,95	0,90	0,87	0,86		0,95	0,78	0,73	0,68	0,66

Notă. La distanța față de perete ⩾ 2 cm și distanța între cabluri = $2d$; $k'_{c1} = 1$

Modul de pozare a cablurilor	b) Cabluri monofazate în sistem trifazat pozate cîte trei							
	Pozarea celor trei cabluri							
	alăturat				în triunghi			
	Distanța liberă între cabluri = d_{cablu} Distanța față de perete ⩾ 2 cm				Distanța liberă între sisteme = $2d_{cablu}$ Distanța față de perete ⩾ 2 cm			
	Numărul sistemelor trifazate de cîte trei cabluri monofazate							
	Figura	Numărul cablurilor			Figura	Numărul cablurilor		
		1	2	3		1	2	3
Cablu pe pardoseală sau pe fundul unui canal. Pozare alăturată		0,92	0,89	0,88		0,95	0,90	0,88
Cablu pe paturi (circulația aerului este împiedicată). Pozare alăturată nr. grătare 1		0,92	0,89	0,88		0,95	0,90	0,88
2		0,87	0,84	0,83		0,90	0,85	0,83
3		0,84	0,82	0,81		0,88	0,83	0,81
6		0,82	0,80	0,79		0,86	0,81	0,79
Cablu pe grătare. Pozare alăturată nr. grătare 1		1	0,97	0,96		1	0,98	0,96
2		0,97	0,94	0,93		1	0,95	0,93
3		0,96	0,93	0,92		1	0,94	0,92
6		0,94	0,91	0,90		1	0,93	0,90

Tabelul 4.43 (continuare)

Modul de pozare a cablurilor	c) Cabluri monofazate în sistem trifazat pozate cîte trei							
	Pozarea celor trei cabluri							
	alăturat				în triunghi			
	Distanța liberă între cabluri = d_{cablu} Distanța între perete ≥ 2 cm				Distanța liberă între sisteme = $4d_{cablu}$ Distanța față de perete ≥ 2 cm			
	Numărul sistemelor trifazate de cîte trei cabluri monofazate							
	Figura	Numărul cablurilor			Figura	Numărul cablurilor		
		1	2	3		1	2	3
Cablu pe stelaje metalice sau pe perete. Pozare unul sub altul — fără atingere de perete		0,94	0,91	0,89				
— cu atingere pe perete		0,89	0,86	0,81		1	1	1
		Notă : la distanța față de perete 2 cm și între cabluri egale cu 2 d, $Kc'_1 = 1$						

Coeficienți de corecție K'_{C2} a curentului maxim admisibil pentru diferite temperaturi ale mediului ambiant

Temperatura maximă a conductorului [°C]	Temperatura mediului ambiant [°C]									
	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
80	1,14 (1,05)	1,09 (1,05)	1,05	1	0,95	0,89	0,84	0,78	0,71	0,63
70	1,17 (1,06)	1,12 (1,06)	1,06	1	0,94	0,87	0,79	0,71	0,61	0,50
65	1,19 (1,0)	1,13 (1,0)	1,07 (1,0)	1	0,93	0,85	0,76	0,65	0,53	0,38
60	1,22 (1,00)	1,15 (1,0)	1,08 (1,0)	1	0,91	0,82	0,71	0,58	0,41	—

Notă. Coeficienții sînt valabili pentru cablurile cu izolație din PVC sau hîrtie, cu observația că cifrele din paranteză se referă numai la izolația din hîrtie.

a) Stabilitatea termică a conductelor la curenți de suprasarcină, se consideră asigurată dacă

$$I_{C\,adm} \geqslant \frac{I_{rt}}{1,5}, \tag{4.40}$$

I_{rt} fiind curentul de reglaj al releului sau declanșatorului termic montat pe porțiunea de rețea considerată (numai la circuite și coloane protejate prin relee sau declanșatoare termice).

b) Pentru curenții de scurtcircuit, condiția de stabilitate termică se exprimă diferit, în funcție de felul dispozitivului de protecție.

Astfel, dacă protecția este asigurată prin siguranțe fuzibile, condiția de stabilitate termică este dată, în cazul instalațiilor electrice de forță, de relația :

$$I_{C\,adm} \geqslant \frac{I_{nf}}{3}, \tag{4.41}$$

iar în cazul instalațiilor electrice de iluminat și prize

$$I_{C\,adm} \geqslant \frac{I_{nf}}{(0,8\ \ldots\ 0,6)}; \tag{4.42}$$

dacă posibilitatea apariției suprasarcinilor este minimă la anumite instalații electrice de iluminat și prize (de ex. în cazul utilizării corpurilor de iluminat cu tuburi fluorescente), intensitatea maxim admisă a curentului permanent prin conductoare se obține cu relația

$$I_{C\,adm} \geqslant I_{nf}. \tag{4.43}$$

În cazul protecției la scurtcircuit realizate prin întreruptoare automate cu relee sau declanșatoare electromagnetice cu acțiune instantanee, stabilitatea termică a conductelor este asigurată dacă

$$I_{C\,adm} \geqslant \frac{I_{re}}{4,5}. \qquad (4.44)$$

Intensitățile maxim abmise prin conducte se determină din condițiile (4.33), (4.40) și una din relațiile (4.41) ... (4.44). Din tabelele 4.2 ... 4.5 rezultă secțiunea conductoarelor.

C. Verificarea secțiunii conductelor se face într-o primă etapă la următoarele solicitări :

— rezistența mecanică, exprimată prin secțiunile minime admise conform tabelului 4.32 ;

— încălzirea în regim de scurtă durată la pornire, care se verifică prin intermediul densității de curent la pornire

$$J_p = \frac{I_r}{s} \qquad (4.45)$$

sau

$$J_p = \frac{I_p}{s} \qquad (4.46)$$

și care trebuie să fie pentru conductoare din aluminiu

$$J_p \leqslant (J_{p\,adm})_{Al} = 20\ \text{A/mm}^2, \qquad (4.47)$$

iar pentru conductoare din cupru

$$J_p \leqslant (J_{p\,adm})_{Cu} = 35\ \text{A/mm}^2. \qquad (4.48)$$

O ultimă verificare pentru secțiunile determinate se realizează prin calculul pierderilor de tensiune (v. subcap. 4.12).

D. Secțiunea conductorului de nul de lucru se stabilește în corelație cu cea a conductoarelor de fază, după cum urmează :

— egală cu secțiunea conductorului de fază în cazul circuitelor de lumină trifazate cu patru conductoare, pînă la o secțiune de 16 mm² a conductoarelor de fază și a circuitelor monofazate (v. tab. 4.32, pct. *8* și *9*) ;

— cel puțin 50% din secțiunea conductoarelor de fază și astfel încît să corespundă intensității maxime de curent posibile în conductele respective, în cazul instalațiilor de forță ;

— conform tabelului 4.32, punctul *10*, pentru circuite de lumină trifazate cu patru conductoare, începînd cu secțiunea conductorului de fază de 25 mm².

4.11.3. MARCAREA CONDUCTELOR [32]

Conductele instalațiilor electrice, precum și barele de distribuție se marchează prin culoarea izolației, tub varniș colorat montat la capete ș.a., în scopul asigurării unei ușoare identificări în caz de verificări și reparații, cît și pentru evitarea pericolelor de accidente prin electrocutare.

Culorile recomandate pentru marcarea conductelor sînt următoarele :

— verde/galben pentru conductele de protecţie (nul sau pămînt);

— alb sau cenuşiu deschis pentru conductele de nul de lucru ;

— albastru deschis pentru conductele neutre şi mediane.

Conductele fazelor se marchează prin culori diferite de cele de mai sus şi diferite între ele. Se recomandă utilizarea următoarelor culori pentru marcarea conductelor de fază : negru, albastru închis, maro.

În întreaga instalaţie electrică din cadrul unei clădiri se va menţine aceeaşi culoare de marcare pentru fiecare conductă de fază.

Barele de neutru, de legare la pămînt, cele colectoare şi de alimentare (bucle) montate în panouri, dulapuri de comandă, semnalizare, măsură, protecţie, automatizare etc. se marchează prin culori şi simboluri respectînd prevederile STAS 4936—71.

4.11.4. MONTAREA CONDUCTELOR

Definitivarea traseelor conductelor şi a condiţiilor de montare se face în corelaţie cu schema cu amplasamente şi trasee. Conform acestui plan şi a tehnologiei de execuţie, s-au luat în considerarea anumite condiţii de montare la calculul secţiunii conductoarelor (par. 4.11.2, pct. **A**).

După determinarea secţiunilor conductoarelor şi definitivarea tipurilor de conducte utilizate se poate trece la :

— alegerea tuburilor de izolaţie şi protecţie, conform lucrării [32];

— definitivarea dimensiunilor la grătarele, paturile sau stelajele de cabluri (v. tab. 4.43 şi [32]) ;

— alegerea tipului constructiv de tablouri de distribuţie şi a elementelor componente ale acestora, întocmirea planurilor de montare a tablourilor de distribuţie [33].

Alegerea, amplasarea şi montarea materialelor şi echipamentelor trebuie să se facă în condiţiile reglementate de [32].

Se va evita amplasarea instalaţiilor electrice (conducte, cabluri, tuburi etc.) pe trasee comune cu acelea ale conductelor altor instalaţii. În cazul cînd acest lucru nu este posibil, instalaţiile electrice se vor monta :

— deasupra conductelor de apă, de canalizare şi de gaze lichefiate ;

— sub conductele de gaze naturale şi sub conductele calde, cu excepţia cablurilor pozate în pămînt pentru care se admite şi montarea deasupra conductelor calde, cu condiţia realizării unei izolări termice a acestora pe toată zona intersecţiei, plus cîte 1 m de o parte şi de alta, astfel încît pe suprafaţa ei supratemperatura faţă de sol să nu depăşească 10°C.

Montarea instalaţiilor electrice sub conducte sau utilaje pe suprafaţa cărora pot să apară condensaţii este interzisă. Fac excepţie instalaţiile electrice executate din materiale, care în conformitate cu normele de produse respective, sînt rezistente la astfel de condiţii.

Distanţele între conductele, cablurile, barele, tuburile şi accesoriile unei instalaţii electrice, precum şi de la acestea pînă la elementele altor instalaţii sau construcţii, trebuie să depăşească valorile minime indicate în tabelul 4.45.

Tabelul 4.45

Distanțe minime între elementele instalației electrice și de la aceasta pînă la elementele altor instalații sau de construcție

Nr. crt.	Elementul de la care se măsoară distanța	Distanța minimă* în cm, față de:									
		Conducte, bare, cabluri din același circuit sau din alte circuite		Conducte cu fluide incombustibile reci $t° \leq +40°C$		Conducte cu fluide incombustibile calde $t° > +40°C$		Conducte cu fluide combustibile		Elemente de construcție***	
		Trasee paralele	Inter-secții	Trasee paralele	Inter-secții	Trasee paralele	Inter-secții	Trasee paralele	Inter-secții	Incom-bustibile	Combustibile
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Conducte neizolate, pe izolatoare, pe pereți	10**	10**	10**	10**	10**	10**	100	100	10**	20
2	Conducte izolate, pe izolatoare, pe pereți	5**	5**	5**	5**	200	150	50	50	5**	10**
3	Bare electrice neizolate	5	5	5	5	5	5	50	50	5	10
4	Conducte în tuburi: — montate aparent	0	0	5	3	100	50	10	5	0	Tub metalic, 0
	— montate îngropat	0	0	5	3	20	5	10	5	0	Tub PVC,3
5	Conducte cu izolație și manta montate aparent	0	0	5	3	100	50	10	5	0	3
	montate îngropat	0	0	5	3	20	5	10	5	0	3
6	Cabluri	Conform prescripției MEE PE 107/1978									

Observații. * Distanțele minime se vor măsura de la suprafețele exterioare ale conductelor aeriene, cablurilor, barelor, tuburilor, dozelor etc.

** Distanța minimă în cazul conductelor aeriene montate pe pereți în exterior va fi de 15 cm.

*** Distanțele minime de la conductele aeriene pînă la alte elemente de pe traseu decît cele din tabel se vor stabili conform indicațiilor din [32].

Distanțele minime între elementele instalației externe și elementele instalației de paratrăsnet se iau conform [29].

4.12. PIERDERI DE TENSIUNE

Circulația curenților prin ramurile rețelelor electrice determină pierderi de tensiune în lungul acestora, deoarece atît conductoarele cît și echipamentele electrice făcînd parte din circuit, prezintă anumite rezistențe sau impedanțe electrice după cum curentul este continuu, respectiv alternativ.

Pierderea de tensiune pe o linie este definită de relația

$$\Delta U\% = \frac{U_1 - U_2}{U_n} 100, \qquad (4.49)$$

în care: U_1 este tensiunea la începutul liniei;
U_2 — tensiunea la capătul liniei;
U_n — tensiunea nominală a liniei.

Pentru o funcționare normală a receptoarelor, se impune ca valorile oscilațiilor de tensiune, de la sursă pînă la bornele acestora, să se încadreze între anumite limite. În tabelul 4.46 sînt indicate pierderile de tensiune maxime admise, în procente față de tensiunea nominală de utilizare, conform prevederilor din normativul în vigoare [32]; aceste valori se iau în considerare în condițiile de consum maxim, pentru care se dimensionează ansamblul distribuției.

Tabelul 4.46

Pierderile de tensiune maxime admise, în procente față de tensiunea nominală de utilizare în instalațiile electrice de joasă tensiune

Situația de alimentare cu energie electrică	Felul instalației			
	Iluminat	Forță		AMC
		regim permanent	regim de pornire	
Consumator alimentat din rețeaua de joasă tensiune a furnizorului	3	5	12 sau conform valorii maxime admise de receptor	conform valorilor maxime admise de aparate
Consumator alimentat prin posturi de transformare sau din centrale proprii	8	10		
Receptoare: **— izolate și îndepărtate;** **— alimentate cu tensiune redusă (sub 42 V)**	10	—		
Mașini de ridicat și transportat	—	12(c.a.) 15(c.c.)		

Calculul pierderilor de tensiune se face pe tronsoanele rețelei (coloane, circuite, porțiuni ale liniilor principale) cu relațiile de calcul indicate în tabelul 4.47, în care: R și X reprezintă rezistența, respectiv reactanța tronsonului; I_c, P_c și Q_c — curentul, puterea activă și puterea reactivă

Tabelul 4.47

Calculul pierderilor de tensiune pentru linii electrice cu sarcini concentrate la capăt

Schema electrică	$\Delta U\%$
curent continuu	$\frac{2RI_c}{U_n}100$
curent alternativ monofazat	$2\frac{RP_c \times XQ_c}{U_n^2}100$
curent alternativ trifazat	$\frac{RP_c \times XQ_c}{U_n^2}100$

cerute pe tronsonul respectiv (cuprins între punctul de racord la sursa de alimentare şi punctul de conectare al sarcinii concentrate).

Pierderea de tensiune totală, pe o direcţie de distribuţie, se obţine prin însumarea pierderilor parţiale de pe diferitele tronsoane.

Pentru calculul parametrilor electrici R şi X ai liniilor electrice de joasă tensiune, avînd secţiunile s (în mm²) şi lungimile l (în km) sînt indicate în tabelul 4.48 relaţii de calcul simplificate (aproximative); se

Tabelul 4.48

Relaţii de calcul pentru parametrii electrici R şi X ai liniilor de joasă tensiune

Tipul liniei	Rezistenţa R [mΩ]	Reactanţa X [mΩ]
Cabluri	Cu: $\frac{17{,}9 \cdot 10^3}{s}l$	(75...100) l
Linii electrice aeriene		(300...400) l
Bare	Al: $\frac{28{,}6 \cdot 10^3}{s}l$	(100...300) l

pot folosi şi relaţiile din tabelele 3.36 ... 3.40, precum şi valorile rezistenţelor şi reactanţelor specifice (raportate la 1 km lungime) indicate în [24] pentru bare, cabluri şi linii electrice aeriene.

În cazul reţelelor cu linii principale buclate (v. subcap. 4.3), calculul pierderilor de tensiune este mai complicat [5], necesitînd transformarea

prin transfigurare a rețelei reale într-una cu linie principală alimentată la ambele capete. În continuare se determină punctul de separație al sarcinilor, punct în care linia se poate întrerupe, fiind astfel echivalentă cu două porțiuni alimentate fiecare de la un singur capăt.

Calculul pierderilor de tensiune se face luînd în considerare secțiunile conductoarelor determinate conform condițiilor de la paragraful 4.11.2. Avînd în vedere că, scopul acestui calcul este de a verifica dacă secțiunile alese asigură pînă la bornele receptoarelor o pierdere de tensiune inferioară valorilor maxime admise, se recomandă efectuarea calculelor numai pentru receptoarele mai încărcate și mai îndepărtate.

În cazul în care pierderile de tensiune calculate rezultă mai mari decît cele indicate în tabelul 4.46, se alege o secțiune superioară pentru circuitul receptorului (fără a depăși secțiunea coloanei din care se ramifică) sau pentru tronsonul cu ponderea cea mai mare în pierderea de tensiune totală și se reiau calculele de determinare a pierderilor de tensiune. De subliniat că în baza metodicii de proiectare dezvoltate, nu se impune în asemenea cazuri o revenire și asupra aparatelor de protecție și comutație.

4.13. TABLOUL GENERAL DIN POSTUL DE TRANSFORMARE

Organizarea posturilor de transformare, din punct de vedere electric, este indicată prin schemele de alimentare din figura 4.45; alături simbolurilor grafice ale echipamentelor s-au trecut indicativele tehnice de catalog, în scopul evidențierii tipurilor de echipamente utilizate (v. subcap. 3.4).

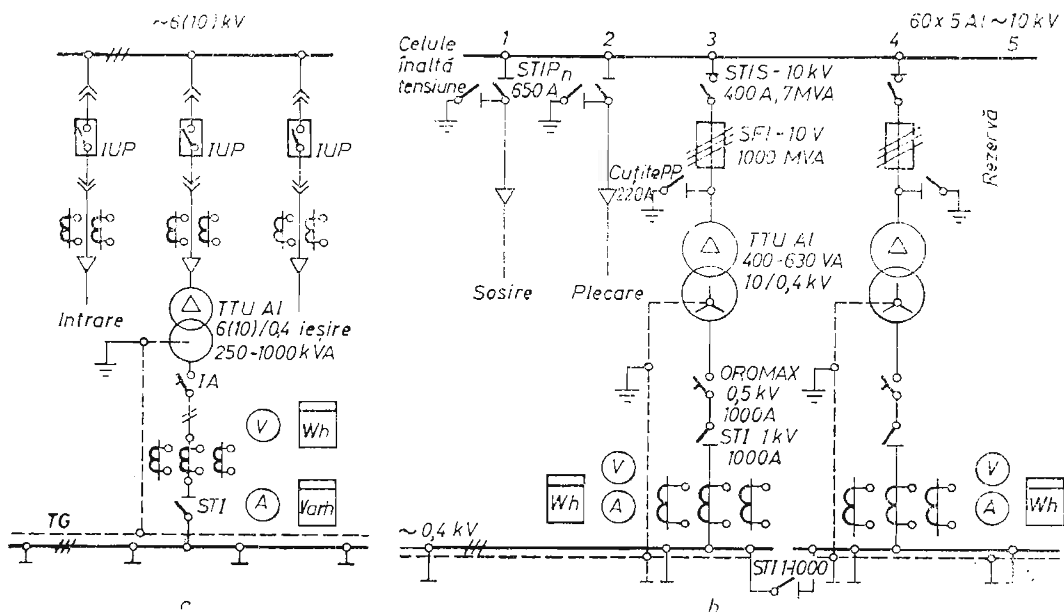


Fig. 4.45. Scheme de alimentare pentru posturi de transformare: *a* — cu un singur transformator; *b* — cu două transformatoare.

Tabloul general de joasă tensiune este prevăzut la intrare cu întreruptor și separator, cuprinzînd un sistem simplu sau dublu de bare, plecările pe joasă tensiune etc.

În posturile de transformare se prevede o rezervă „caldă" de un transformator, pentru toţi consumatorii cărora le corespunde un nivel de rezervare *1* sau *2* în căile de alimentare (v. subcap. 1.3). Conectarea în circuit a transformatorului de rezervă se face automat sau manual, conform duratelor de realimentare corespunzătoare (tab. 1.2). În general, se caută ca toate transformatoarele dintr-un post să fie de același tip.

La tablourile generale se prevăd întreruptoare generale automate cu protecție maximală în următoarele situații [32]:

— în postul de transformare propriu, maneta întreruptorului automat de înaltă tensiune nu este la dispoziția consumatorului;

— racordarea tabloului general al instalațiilor industriale cu puteri instalate peste 20 kW inclusiv și tablourile șantierelor se face direct la rețeaua de joasă tensiune a furnizorului (v. par. 4.10.1.).

Întreruptorul general automat al tabloului general se alege astfel încît să nu declanșeze la lipsa de tensiune cauzată de funcționarea AAR-urilor din rețeaua furnizorului.

Alegerea dispozitivelor de protecție din postul de transformare, trebuie să se facă în așa fel încît să se coreleze protecția de joasă tensiune (la consumator), cu protecția instalației de înaltă tensiune (de racord), asigurîndu-se și în acest caz selectivitatea protecției. Pentru aceasta caracteristicile de protecție ale aparatelor de înaltă tensiune (siguranțe fuzibile, întreruptoare automate) se transpun pe partea de joasă tensiune, raportînd curenții corespunzători diferiților timpi de acționare cu relația

$$I''_{it} = \frac{U_{it}}{U_{jt}} I_{it}, \tag{4.50}$$

în care I''_{it} este curentul de înaltă tensiune I_{it} raportat la joasă tensiune, U_{it} — tensiunea nominală primară și U_{jt} — tensiunea nominală secundară a transformatorului de putere.

În acest mod, se pot analiza caracteristicile de protecție ale aparatelor instalate la tensiuni diferite, luîndu-se ca referință valorile curenților la joasă tensiune.

Coloana de alimentare a tablourilor generale este de regulă prevăzută cu următoarele aparate de măsură:

— contor de energie activă;

— ampermetre montate pe fiecare fază, pentru a se putea urmări nesimetria încărcărilor;

— voltmetru pentru măsurarea tensiunii, cu posibilități de comutare pe cele trei faze.

Contoarele se racordează fie direct, la curenți sub 30 A la alimentarea monofazată și sub 20 A la alimentare trifazată, fie prin intermediul transformatoarelor de măsură, peste aceste limite indicate.

Ampermetrele se racordează prin intermediul transformatoarelor de măsură. Pentru a face posibilă o citire ușoară a intensității curentului normal și a eventualelor supraîncărcări se pune condiția

$$I_{nA} \approx 1{,}3\ I_c. \tag{4.51}$$

4.14. CURENȚI DE SCURTCIRCUIT

4.14.1. GENERALITĂȚI

Curenții de scurtcircuit produc în instalațiile electrice următoarele efecte:

— termice, care conduc la încălzirea puternică a conductelor, a contactelor și a altor părți conductoare ale aparatelor, a înfășurărilor transformatoarelor și prin aceasta la distrugerea izolației, la arderea și eventual sudarea contactelor aparatelor de comutație;

— dinamice (mecanice), datorate efectului electrodinamic al curenților, care duc la îndoirea barelor, deteriorarea aparatelor, bobinelor etc.

Curentul de scurtcircuit total, reprezentat prin curba *1*, în figura 4.46, se poate considera ca rezultat al suprapunerii a două componente, una periodică (curba *2*), avînd valoarea eficace $I_{sc\,p}$, corespunzătoare impedanței reduse care a produs scurtcircuitul și o alta i_a, tranzitorie aperiodică (curba *3*), care are valoarea maximă în momentul producerii scurtcircuitului și scade rapid (în 3—4 perioade) pînă la zero.

Valoarea instantanee maximă i_s din prima perioadă a curentului total de scurtcircuitul se numește *curent de scurtcircuit de șoc.*

Valoarea eficace a curentului permanent de scurtcircuit $I_{sc\,p}$ prezintă o tendință de reducere în timp, ca urmare a creșterii impedanței echivalente a generatoarelor, în timpul scurtcircuitului. În rețelele electrice de joasă tensiune această reducere este neglijabilă, deoarece impedanțele generatoarelor și rețelelor de înaltă tensiune sînt mici în raport cu cele ale transformatoarelor și rețelelor de joasă tensiune, astfel încît valoarea eficace a curentului permanent de scurtcircuit se poate considera constantă. Pentru scurtcircuit trifazat aceasta se calculează cu relația

$$I^{(3)}_{sc\,p} = \frac{U_n}{\sqrt{3}Z}; \tag{4.52}$$

pentru scurtcircuitul bifazat

$$I^{(2)}_{sc\,p} = \frac{U_n}{2Z}, \tag{4.53}$$

iar pentru cel monofazat

$$I^{(1)}_{sc\,p} = \frac{U_n}{\sqrt{3}|Z + Z_0|}, \tag{4.54}$$

în care: U_n este tensiunea nominală de linie la barele de joasă tensiune a postului de transformare, în V (400V);
Z — impedanța unei faze a rețelei;
Z_0 — impedanța conductorului neutru.

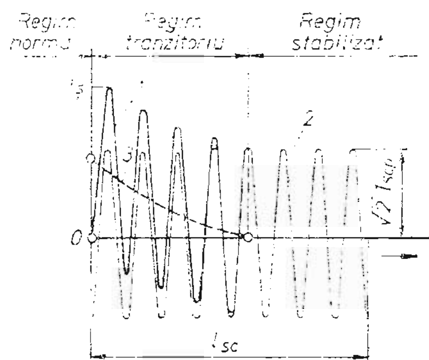


Fig. 4.46. Variația și mărimile caracteristice ale curentului de scurtcircuit:
1 — curentul total: *2* — componenta periodică; *3* — componenta aperiodică.

Dacă impedanțele se exprimă în mΩ și U_n în V, curentul de scurtcircuit calculat cu relațiile (4.52) ... (4.54) se obține în kA.

Din examinarea relațiilor de mai sus, se poate observa că valoarea eficace maximă a curentului permanent de scurtcircuit apare în cazul scurtcircuitului trifazat, această situație fiind luată în considerare în cele care urmează.

4.14.2. CALCULUL CURENȚILOR DE SCURTCIRCUIT

Pentru verificarea conductelor și echipamentelor electrice la solicitările curenților de scurtcircuit, este necesar să se determine curentul de scurtcircuit de șoc $i_ș$ care produce efectul dinamic maxim și curentul echivalent termic al curentului de scurtcircuit I_{sct} care produce efectul termic.

În primul rînd, se calculează curenții permanenți de scurtcircuit cu relația (4.52), pentru diversele puncte caracteristice de scurtcircuit din rețeaua de joasă tensiune. Impedanța Z a unei faze se determină prin însumarea fazorială a tuturor impedanțelor înseriate — a sistemului, transformatoarelor, conductelor, bobinelor de reactanță etc., calculate pe baza relațiilor indicate în subcapitolul 3.7 sau conform [8].

Valoarea eficace inițială $I_{sc\,0}$ a componentei alternative a curentului de scurtcircuit este în general

$$I_{sc\,0} = 1,1\ I_{sc\,p}, \tag{4.55}$$

iar în cazul în care la locul scurtcircuitului sînt conectate nemijlocit motoare asincrone, avînd suma curenților nominali $I_{n\Sigma}$,

$$I_{sc\,0} = I_{sc\,p} + 4I_{n\Sigma}. \tag{4.56}$$

Curentul de scurtcircuit de șoc se calculează cu relația

$$i_ș = k_ș\sqrt{2}I_{sc\,0}, \tag{4.57}$$

în care $k_ș$ este coeficientul de șoc depinzînd de raportul dintre rezistența R_Σ și reactanța X_Σ totale de scurtcircuit (v. fig. 3.27).

Curenții de scurtcircuit de șoc sînt reduși în rețelele protejate prin siguranțe fuzibile, datorită efectului limitator al acestora. Valoarea reală $i'_ș$ a curentului de scurtcircuit de șoc după siguranță (în sensul transformator-receptor) poate fi determinată cu diagrama din figura 4.47, pe baza curentului de șoc $i_ș$ considerînd siguranța șuntată și a tipului siguranței respective.

Curentul echivalent termic al curentului de scurtcircuit I_{sct} se definește, în curent alternativ, ca valoarea eficace constantă a unui curent alternativ, care într-o secundă dezvoltă într-un element de circuit o căldură egală cu cea pe care ar dezvolta-o curentul de scurtcircuit real pe toată durata defectului. Calculul curentului echivalent termic se face cu relația

$$I_{sct} = I_{sc\,0}\sqrt{(m + n)t_{sc}/t_{ec}}, \tag{4.58}$$

în care : m este coeficientul de influență a componentei aperiodice, a cărui valoare se determină din nomograma prezentată în figura 3.31, *a*, în funcție de $k_ș$ și t_{sc} ;

n — coeficientul de influență a variației în timp a componentei aperiodice, care se obține din nomograma prezentată în figura 3.31, *b*, în funcție de t_{sc} și raportul $I_{sc\,0}/I_{sc\,p}$;

t_{sc} — durata scurtcircuitului, egală cu timpul de acționare al aparatelor de protecție, în s;

t_{ec} = 1 s, timpul corespunzător curentului echivalent termic.

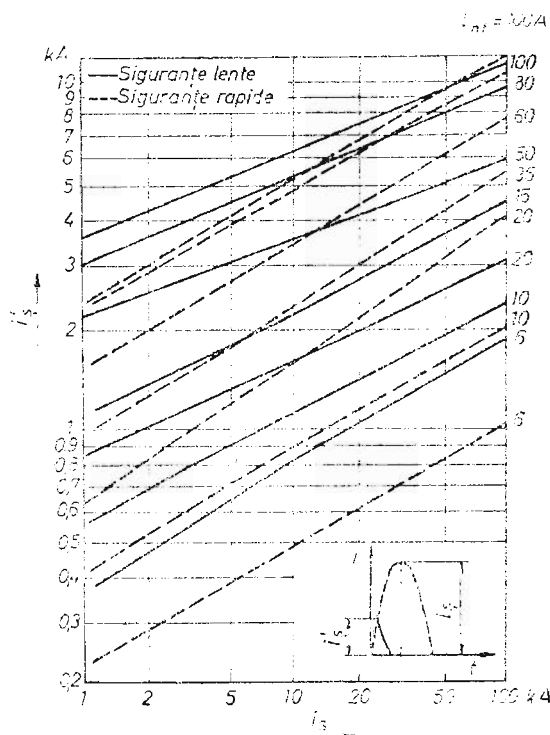


Fig. 4.47. Efectul limitator al siguranțelor unipolare cu filet asupra curenților de șoc.

În curent continuu, valoarea curentului de scurtcircuit de șoc poate fi considerată egală [23] cu a curentului permanent de scurtcircuit

$$i_{ș} = I_{sc\,p} = \frac{U}{R}, \quad (4.59)$$

în care R reprezintă rezistența totală de scurtcircuit, calculată în mod similar cu componenta rezistivă a impedanței de scurtcircuit, iar curentul echivalent termic este

$$I_{sc\,t} = I_{sc\,p}\sqrt{t_{sc}/t_{ec}}, \quad (4.60)$$

toate mărimile avînd semnificațiile de mai sus.

4.14.3. VERIFICAREA APARATELOR LA ACȚIUNEA CURENȚILOR DE SCURTCIRCUIT

Aparatele de protecție la scurtcircuit trebuie verificate la următoarele solicitări:

- capacitatea de rupere;
- stabilitatea dinamică;
- stabilitatea termică.

a) *Capacitatea de rupere* a dispozitivelor de protecție la scurtcircuit I_r trebuie să fie cel puțin egală cu valoarea curentului de scurtcircuit, care ar putea să apară în punctul în care dispozitivul este montat [32]. Deoarece timpul de întrerupere al scurtcircuitelor prin întreruptoare automate cu

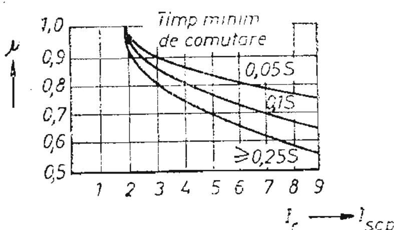


Fig. 4.48. Diagrama coeficientului μ de descreștere a curentului inițial de scurtcircuit.

declanșatoare sau relee electromagnetice este, în general, $t_{sc} = (0{,}05 \ldots 0{,}1)$ s, se poate considera îndeplinită condiția de mai sus dacă

$$I_r \geqslant I_{scp}. \tag{4.61}$$

Pentru alte tipuri de aparate, valoarea curentului de scurtcircuit care trebuie întrerupt se poate calcula cu relația

$$I_{scr} = \mu I_{sc0}, \tag{4.62}$$

în care μ este coeficientul de descreștere a curentului inițial de scurtcircuit, pînă la începutul separării contactelor, rezultînd din diagrama prezentată în figura 4.48.

În acest caz, capacitatea de rupere trebuie să îndeplinească condiția

$$I_r \geqslant I_{scr}. \tag{4.63}$$

Pe de altă parte caracteristica de funcționare a dispozitivelor de protecție trebuie să asigure întreruperea circuitului înainte de apariția pericolului de deteriorare a instalației electrice protejate.

b) *Stabilitatea dinamică la scurtcircuit* a aparatelor reprezintă curentul maxim de șoc pe care acestea îl pot suporta din punct de vedere al rezistenței mecanice.

Pentru întreruptoare automate se indică în cataloage curentul limită dinamic I_{ld}, stabilitatea dinamică fiind realizată dacă

$$I_{ld} > i_s. \tag{4.64}$$

c) *Stabilitatea termică la scurtcircuit* a elementelor de rețea se referă la încălzirea acestora pînă la valorile maxime admise în regim de scurtcircuit.

Aparatelor le este caracteristic un curent limită termic I_{lt}, care poate fi suportat de aparat un anumit interval de timp t_{lt} (de obicei 1 ; 5 sau 10 s). Condiția de stabilitate termică se exprimă prin relația

$$I_{lt} \geqslant \frac{I_{sct}}{\sqrt{t_{lt}/t_{ec}}}, \tag{4.65}$$

în care t_{ec} = 1s.

4.14.4. VERIFICAREA CONDUCTELOR LA ACȚIUNEA CURENȚILOR DE SCURTCIRCUIT

Stabilitatea dinamică se verifică în cazul barelor, calculînd efortul unitar la încovoiere σ [23], care trebuie să fie mai mic decît cel admis

$$\sigma < \sigma_{adm}, \tag{4.66}$$

pentru materialele uzuale indicîndu-se [32] următoarele valori ale eforturilor unitare la încovoiere σ_{adm} maxim admise:

— cupru . . . . 1 400 daN/cm²;
— aluminiu moale . . . . 700 daN/cm²;

— aluminiu tare . . . . 900 daN/cm²;
— oțel . . . . 1 600 daN/cm².

Stabilitatea termică a conductelor de joasă tensiune se consideră îndeplinită dacă secțiunea verifică relația

$$s \geqslant I_{scp} \frac{\sqrt{t_{sc}}}{C}, \text{ mm}^2, \qquad (4.67)$$

în care I_{scp} se exprimă în A, t_{sc} în s, iar C este un coeficient care depinde de tipul și materialul conductelor, indicat în tabelul 4.49. În același tabel sînt date și temperaturile maxime admise în conducte, în regim de scurtcircuit.

Tabelul 4.49

Valorile temperaturii maxime admise și a coeficientului C la încălzirea conductelor, în regim de scurtcircuit

Tipul și materialul conductelor		Temperatura maximă admisibilă [°C]	Coeficientul C
Bare din cupru		200	165
Bare din aluminiu		200	90
Bare din oțel (fără legătură directă cu aparatele)		400	66
Bare din oțel (cu legătură directă cu aparatele)		300	60
Cabluri cu izolație de hîrtie cu conductoare de	cupru	200	145
	aluminiu		90
Cabluri cu izolație din cauciuc sau PVC cu conductoare de	cupru	150	122
	aluminiu		83
Cabluri și conductoare cu izolație de polietilenă cu conductoare de	cupru	120	104
	aluminiu		70

De asemenea, stabilitatea termică a conductelor poate fi considerată corespunzătoare dacă densitatea curentului pe secțiunea conductoarelor nu depășește valorile admise în regim de scurtă durată (v. par. 4.11.2).

Izolatoarele de susținere ale barelor se verifică numai la solicitările mecanice provocate de oscilațiile barelor sub acțiunea forțelor electrodinamice [23].

În final se menționează că, în cazul în care echipamentele și conductele electrice nu pot fi alese astfel încît să prezinte stabilitate la solicitările datorite efectului termic și electrodinamic al curenților de scurtcircuit la locul de montaj, se recomandă [32] prevederea unor dispozitive speciale de protecție (siguranțe rapide cu mare putere de rupere, întreruptoare automate rapide etc.).

Verificarea la scurtcircuit nu este obligatorie în cazul tablourilor de distribuție, pentru aparatele și conductele protejate prin siguranțe fuzibile. De asemenea, se admite ca transformatoarele de curent să nu fie stabile la curentul de scurtcircuit, dacă stabilitatea ar cere adoptarea unei valori mai mari pentru curentul primar, valoare care ar influența nefavorabil funcționarea aparatelor de măsurat și a circuitelor de protecție.

Capitolul 5
INSTALAȚII ELECTRICE DE ILUMINAT

Lumina condiționează în mare măsură activitatea omului. Iluminatul de nivel corespunzător contribuie la mărirea productivității muncii, la reducerea numărului de accidente, la evitarea erorilor.

Instalațiile de iluminat electric trebuie să realizeze un anumit nivel de iluminare, concomitent cu îndeplinirea unor condiții de calitate, reclamate de caracterul subiectiv al iluminatului. În afară de aceasta, instalațiile de iluminat (artificial-electric) trebuie să aibă, pentru a fi economice, o mare adaptabilitate la condițiile variate de funcționare, dată fiind corelația strînsă cu iluminatul natural.

5.1. NOȚIUNI FUNDAMENTALE ÎN TEHNICA ILUMINATULUI

5.1.1. RADIAȚIILE VIZIBILE

Radiațiile care impresionează ochiul, deci cele care produc senzații luminoase, se numesc radiații *vizibile* sau *luminoase*. În spectrul radiațiilor electromagnetice, reprezentat după lungimea de undă (avînd ca unitate de măsură nanometrul, 1 nm = 10^{-9} m), radiațiile vizibile ocupă domeniul 380 ... 760 nm.

Radiațiile vizibile de o anumită lungime de undă sînt denumite radiații monocromatice și produc asupra ochiului senzația unei anumite culori.

Radiațiile complexe sau policromatice rezultă din suprapunerea mai multor radiații monocromatice. Totalitatea radiațiilor monocromatice vizibile, luate într-o anumită proporție, dă senzația culorii albe.

Spectrul vizibil, reprezentat în figura 5.1, se împarte în șase zone, corespunzătoare culorilor fundamentale: violet, albastru, verde, galben, portocaliu și roșu. Limitele care separă aceste zone nu pot fi precis definite, ele variind de la un observator la altul.

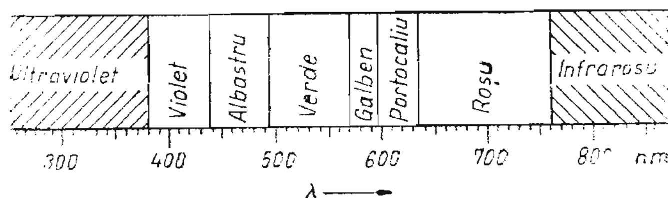


Fig. 5.1. Spectrul radiațiilor vizibile.

5.1.2. MĂRIMI ȘI UNITĂȚI FOTOMETRICE

Lumina este caracterizată prin mărimi energetice, evaluate în unități de măsură energetice și prin mărimi fotometrice, evaluate în unități de măsură fotometrice.

Fotometria este știința măsurării mărimilor caracteristice luminii și fenomenelor luminoase, evaluate pe baza senzațiilor luminoase produse. Mărimile fotometrice sînt deci mărimi fizico-fiziologice. Acestea au un caracter obiectiv în urma adoptării unei caracteristici medii a sensibilității ochiului omenesc, în funcție de lungimea de undă a radiațiilor luminoase.

a) *Fluxul energetic.* Orice radiație electromagnetică reprezintă și un transport de energie, care poate fi transformată întotdeauna în căldură. Fluxul energetic Φ_e reprezintă energia emisă, transportată sau primită sub formă de radiație în unitatea de timp:

$$\Phi_e = \frac{dQ_e}{dt}, \tag{5.1}$$

în care Q_e este energia radiantă, exprimată în Joule. Avînd dimensiunile unei puteri, unitatea de măsură a fluxului energetic este wattul.

b) *Intensitatea luminoasă* I_v se definește ca mărimea fizică ce caracterizează acțiunea unei surse luminoase într-o anumită direcție.

Unitatea de măsură pentru intensitatea luminoasă este candela [cd], unitate fundamentală a sistemului SI, definită astfel: candela este intensitatea luminoasă în direcția normalei a unei suprafețe cu aria de 1/600 000m², a unui corp negru la temperatura de solidificare a platinei (2 046,50 K), la presiunea de 101 325 N/m².

În general, intensitatea luminoasă a unei surse variază cu direcția în spațiu. Sursa luminoasă poate fi uniformă sau neuniformă, după cum intensitatea luminoasă este aceeași sau nu în toate direcțiile.

c) *Fluxul luminos* Φ_v poate fi definit ca produsul dintre intensitatea luminoasă I_v, considerată constantă în cadrul unui unghi solid Ω și mărimea acestui unghi solid:

$$\Phi_v = I_v \Omega. \tag{5.2}$$

Dacă sursa luminoasă este neuniformă, fluxul luminos al acesteia este dat de relația:

$$\Phi_v = \int I_v d\Omega. \tag{5.3}$$

Unitatea de măsură pentru fluxul luminos este lumenul, definit ca fluxul luminos emis în unghiul solid de un steradian, de către o sursă de lumină punctiformă și uniformă cu intensitatea luminoasă de o candelă.

Fluxul luminos poate fi definit și din punct de vedere energetic, ca reprezentînd puterea radiațiilor electromagnetice exprimată prin intensitatea senzației produse asupra ochiului omenesc. Intensitatea senzației vizuale produse de o radiație, care cade asupra ochiului, depinde de fluxul energetic Φ_e (nu de energia radiantă Q_e) și de compoziția spectrală a radiației.

Pentru a înțelege mai bine definiția energetică a fluxului luminos, se consideră un geam mat pe care se lasă să cadă două fascicule de lumină

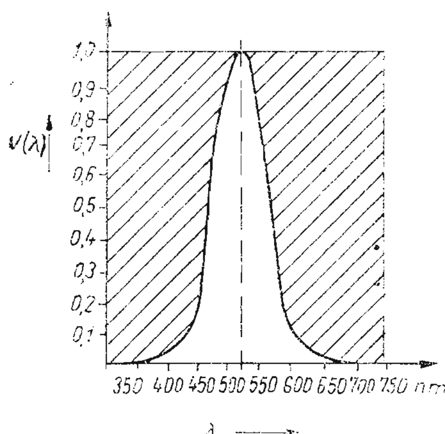


Fig. 5.2. Curba de sensibilitate relativă spectrală a ochiului omenesc.

monocromatică, de lungimi de undă $\lambda_0 = 555$ nm şi λ_i, a căror flux energetic Φ_{e0}, respectiv Φ_{ei} poate fi reglat după voie:

— dacă $\Phi_{e0} = \Phi_{ei}$, datorită faptului că ochiul omenesc are o sensibilitate mai mică pentru radiaţiile de lungime λ_i decît pentru cele de lungime λ_0, intensitatea senzaţiei produse de cîmpul i va fi mai mică decît cea produsă de cîmpul o ($\Phi_{vi} < \Phi_{v0}$);

— dacă se măreşte fluxul energetic Φ_{ei} al sursei cu lungimea de undă λ_i, pînă cînd intensitatea senzaţiei produse de cele două cîmpuri asupra ochiului este aceeaşi ($\Phi_{vi} = \Phi_{v0}$) se poate determina raportul subunitar şi adimensional.

$$V(\lambda_i) = \frac{\Phi_{e0}}{\Phi_{ei}}, \tag{5.4}$$

denumit eficacitatea luminoasă spectrală a unei radiaţii vizibile.

Repetînd experienţa descrisă pentru un număr foarte mare de radiaţii monocromatice din domeniul vizibil, s-a construit curba de sensibilitate relativă spectrală a ochiului omenesc $V(\lambda)$, prezentată în figura 5.2.

Din cele de mai sus rezultă că fluxul energetic Φ_{ei}, emis pe lungimea de undă λ_i, determină o senzaţie vizuală de aceeaşi intensitate cu fluxul energetic

$$\Phi_{e0} = V(\lambda_i)\Phi_{ei}, \tag{5.5}$$

care ar fi emis pe lungimea de undă $\lambda_0 = 555$ nm (pentru care sensibilitatea ochiului este maximă).

Dacă o sursă de lumină emite simultan radiaţii pe mai multe lungimi de undă $\lambda_1, \lambda_2, \ldots \lambda_n$, de fluxuri energetice respectiv $\Phi_{e1}, \Phi_{e2}, \ldots, \Phi_{en}$, ansamblul acestora

$$\Phi_e = \sum_{i=1}^{n} \Phi_{ei} \tag{5.6}$$

va crea o senzaţie de aceeaşi intensitate ca şi mărimea

$$\Phi_v = \sum_{i=1}^{n} V(\lambda_i)\Phi_{ei} \tag{5.7}$$

emisă pe lungimea de undă λ_0; Φ_v reprezintă tocmai fluxul luminos, într-o definiţie energetică. Unitatea de măsură este în acest caz watt-ul luminos [Wl], de aceeaşi natură ca şi watt-ul.

Relaţia de legătură dintre cele două unităţi de măsură ale fluxului luminos este

$$1 \text{ Wl} = 680 \text{ lm}. \tag{5.8}$$

d) *Emitanța luminoasă* M_v este densitatea superficială a fluxului luminos emis de o sursă, definită prin relația

$$M_v = \frac{d\Phi_v}{dA}, \tag{5.9}$$

în care dA este suprafața emitentă elementară și $d\Phi_v$ — fluxul luminos emis de aceasta.

Emitanța luminoasă se aplică nu numai suprafețelor care produc fluxul luminos, ci și suprafețelor care reflectă sau transmit fluxul luminos primit de la o sursă primară de lumină.

Unitatea de măsură este lumenul pe metru pătrat [lm/m²].

e) *Iluminarea* E_v reprezintă densitatea de flux luminos primit de o suprafață. Într-un punct oarecare al unei suprafețe, iluminarea este dată de raportul

$$E_v = \frac{d\Phi_v}{dA}, \tag{5.10}$$

în care $d\Phi_v$ este fluxul luminos primit de elementul de suprafață dA din vecinătatea punctului considerat.

Unitatea de măsură pentru iluminare este luxul [lx]

$$<E_v> = \text{lx} = \frac{\text{lm}}{\text{m}^2}. \tag{5.11}$$

Iluminarea într-un punct P al unei suprafețe (fig. 5.3), dată de o sursă punctiformă O amplasată deasupra planului într-o poziție definită prin coordonatele (r, θ), poate fi calculată explicitînd mărimile din relația (5.10) astfel:

— fluxul luminos $d\Phi_v$ emis în unghiul solid elementar $d\Omega$ sub care se vede suprafața dA din punctul O este

$$d\Phi_v = I_v d\Omega, \tag{5.12}$$

în care I_v este intensitatea luminoasă a sursei după direcția θ;

— unghiul solid elementar este

$$d\Omega = \frac{dA \cos\theta}{r^2} \tag{5.13}$$

deoarece normala la suprafața dA face cu direcția OP unghiul de incidență $i = \theta$.

Înlocuind expresiile (5.12) și (5.13) în relația (5.10) rezultă:

$$E_v = \frac{I_v \cos\theta}{r^2}, \tag{5.14}$$

care exprimă cele două legi fundamentale ale iluminării:

— legea pătratelor distanțelor, conform căreia iluminarea unei

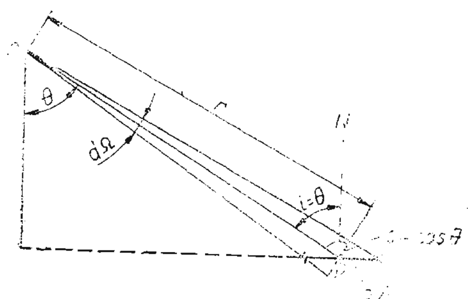


Fig. 5.3. Explicativă pentru iluminarea unei suprafețe.

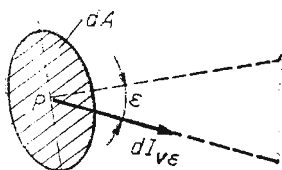


Fig. 5.4. Explicativă pentru determinarea luminanței într-un punct al unei suprafețe.

suprafețe este invers proporțională cu pătratul distanței (θ = const.);

— legea cosinusului, conform căreia iluminarea variază proporțional cu cosinusul unghiului de incidență (r = const.).

În general, în diversele puncte ale unei suprafețe iluminările au valori diferite, atît datorită repartiției neuniforme a fluxului luminos, cît și legilor iluminării. În asemenea situații, este utilă uneori definirea unei valori medii a iluminării

$$E_{v\,med} = \frac{\Phi_v}{A}, \tag{5.15}$$

în care Φ_v este fluxul luminos primit de suprafața cu aria A.

f) *Luminanța (strălucirea luminoasă)* este mărimea fotometrică percepută direct de ochi și se referă atît la surse de lumină, cît și la suprafețe iluminate.

Prin definiție, luminanța într-un punct P al unei suprafețe (fig. 5.4) și într-o anumită direcție este raportul dintre intensitatea luminoasă $dI_{v\varepsilon}$ în direcția considerată, datorată elementului de suprafață dA, și aria proiecției ortogonale a elementului de suprafață dA din jurul acelui punct, pe un plan perpendicular pe această direcție

$$L_v = \frac{dI_{v\varepsilon}}{dA\cos\varepsilon}. \tag{5.16}$$

Pentru suprafețe de luminanță constantă în toate direcțiile, relația (5.16) se poate scrie sub forma

$$L_v = \frac{I_{v\varepsilon}}{A\cos\varepsilon}. \tag{5.17}$$

Astfel de suprafețe se numesc *perfect difuzante* și în această categorie se încadrează tuburile fluorescente, suprafețele reflectante mate (iluminate uniform), plăcile difuzante din sticlă opalină etc.

Unitatea de măsură pentru luminanță în SI este candela pe metru pătrat [nit]:

$$\langle L_v \rangle = \frac{cd}{m^2}, \tag{5.18}$$

reprezentînd luminanța uniformă a unei suprafețe plane cu aria de un metru pătrat, a cărei intensitate luminoasă, într-o direcție normală la plan, este de o candelă.

5.1.3. PROPRIETĂȚILE FOTOMETRICE ALE MATERIALELOR

Dacă pe suprafața unui corp cade un flux luminos (sau energetic) Φ, o parte Φ_α este absorbită de corp, o parte Φ_ρ se reflectă și o parte Φ_τ trece prin corp. Din legea de conservare a energiei rezultă egalitatea

$$\Phi = \Phi_\alpha + \Phi_\rho + \Phi_\tau, \tag{5.19}$$

valabilă atît în cazul fluxurilor energetice, cît și al fluxurilor luminoase.

Proprietățile fotometrice ale materialelor sînt exprimate prin valorile următorilor factori pozitivi și subunitari:

— factorul de absorbție

$$\alpha = \frac{\Phi_\alpha}{\Phi}; \tag{5.20}$$

— factorul de reflexie

$$\rho = \frac{\Phi_\rho}{\Phi}; \tag{5.21}$$

— factorul de transmisie

$$\tau = \frac{\Phi_\tau}{\Phi}. \tag{5.22}$$

Relația de legătură dintre acești trei factori se deduce din relația (5.19), prin împărțire cu Φ:

$$\alpha + \rho + \tau = 1. \tag{5.23}$$

Dacă unul dintre coeficienți are valoarea unu, în baza relației (5.23) ceilalți sînt nuli. În asemenea cazuri limită se disting materiale *perfect absorbante* ($\alpha = 1$), *perfect reflectante* ($\rho = 1$) sau *perfect transparente* ($\tau = 1$). Materialele utilizate în practică se caracterizează prin valori intermediare cazurilor limită.

5.2. SURSE ELECTRICE DE LUMINĂ

5.2.1. CLASIFICARE

Sursele de lumină moderne sînt în mod exclusiv alimentate cu energie electrică. După modul de producere a radiațiilor luminoase, sursele de lumină (lămpile) se clasifică în patru categorii:

— *lămpi cu incandescență*, la care energia electrică este folosită pentru încălzirea filamentului pînă la temperaturi ridicate. Filamentul incandescent emite energie sub formă de radiații, a căror putere și compoziție spectrală sînt determinate de legile radiației termice;

— *lămpi cu descărcări*, în care lumina este produsă printr-o descărcare luminiscentă într-un gaz, în vapori metalici sau într-un amestec de mai multe gaze și vapori metalici;

— *lămpi cu arc*, la care se produc atît radiații termice, cît și efecte de luminiscență;

— *lămpi fluorescente*, în care lumina este emisă în principal de un strat de substanță fluorescentă, excitată ea însăși de radiația ultravioletă a descărcării;

— *lămpi speciale*, după tip sau utilizare.

5.2.2. MĂRIMI CARACTERISTICE

Mărimile fizice utilizate pentru caracterizarea proprietăților energetice și emisive ale lămpilor electrice sînt:

— puterea activă absorbită P;
— fluxul luminos emis Φ_v;
— eficacitatea luminoasă η_v;
— temperatura de culoare T;
— luminanța L_v;
— durata de funcționare D.

Puterea absorbită de lampă cînd aceasta este alimentată la tensiunea nominală reprezintă puterea nominală.

Fluxul luminos emis de lampă după primele 100 h de funcționare, lampa fiind alimentată la tensiunea nominală, este denumit flux luminos nominal.

Eficacitatea luminoasă η_v se definește ca raportul dintre fluxul luminos Φ_v și puterea consumată P:

$$\eta_v = \frac{\Phi_v}{P}. \tag{5.24}$$

Aceasta este o mărime importantă în aprecierea economicității surselor luminoase. Unitatea de măsură a eficacității luminoase este lumenul pe watt

$$<\eta_v> = \frac{\text{lm}}{\text{W}},$$

definit ca eficacitatea luminoasă a unei surse care emite un flux luminos de un lumen pentru o putere consumată de un watt.

Temperatura de culoare a unei surse de lumină este temperatura, în grade Kelvin, la care trebuie încălzit corpul negru pentru a avea aceeași culoare cu sursa considerată

$$<T> = K.$$

Însemnătatea definirii temperaturii de culoare constă în aceea că, în acest fel, se poate caracteriza printr-un singur număr compoziția spectrală a radiațiilor emise de o anumită sursă de lumină.

Durata de funcționare D reprezintă timpul, exprimat în ore, în care fluxul luminos al lămpii scade pînă la 80% din valoarea inițială.

Dependențele mărimilor caracteristice ale lămpilor de tensiunea de alimentare a acestora prezintă de asemenea o importanță deosebită. Aceste dependențe sînt denumite caracteristici de funcționare, referindu-se în mod obișnuit la variațiile $P(U)$, $\Phi_v(U)$, $\eta_v(U)$ și $D(U)$.

În cele ce urmează, se prezintă lămpile cu incandescență și fluorescente. Pentru studiul celorlalte surse electrice de lumină se recomandă consultarea lucrărilor [6, 9].

5.2.3. LĂMPI CU INCANDESCENȚĂ

La lămpile cu incandescență, emisiunea luminoasă se produce prin încălzirea unui filament de wolfram (tungsten) la o temperatură cuprinsă între 2 000 ... 3 000 K. Caracteristicile energetice, fotometrice și colorime-

trice ale unei lămpi cu incandescență sînt determinate de temperatura filamentului incandescent.

Eficacitatea luminoasă a unei lămpi cu incandescență normale are valori în intervalul 8 . . . 20 lm/W, valorile mai mici corespunzînd lămpilor de putere mică (15 W).

Lămpi cu incandescență de uz general (normale) se fabrică în gama de puteri 15 . . . 1 000 W (R.S. România) și chiar pînă la 3 000 W, pentru tensiuni de 120 sau 220 V.

Lămpile cu incandescență pentru tensiunea de 120 V au eficacitatea luminoasă mai mare cu circa 10% decît cele pentru tensiunea de 220 V; aceasta se explică prin aceea că la lămpile pentru tensiunea de 220 V filamentul este mai lung și deci diferitele porțiuni ale acestuia se ecranează reciproc.

Fluxurile luminoase nominale ale lămpilor cu incandescență fabricate în R.S. România sînt indicate în tabelul 5.1.

Durata de funcționare a lămpii normale, adică timpul în care fluxul luminos al lămpii scade pînă la 80% din valoarea inițială, este standardizată la 1 000 ore.

Luminanța acestor lămpi este foarte mare, de ordinul a 10^7 cd/m², producînd fenomene de orbire.

Temperatura de culoare este de 2 850 K pentru lămpile umplute cu gaz și de 2 450 K pentru cele cu vid. Culoarea gălbuie a luminii emise poate fi ameliorată prin utilizarea baloanelor colorate, dar scade mult eficacitatea luminoasă. Funcționarea lămpii nu este afectată de temperatura mediului ambiant.

Mărimile caracteristice de funcționare ale unei lămpi cu incandescență variază într-un mod specific odată cu modificarea tensiunii de alimentare în raport cu cea nominală, conform figurii 5.5. Astfel:

— fluxul luminos, puterea absorbită și eficacitatea luminoasă cresc cu creșterea tensiunii;

Tabelul 5.1

Fluxurile nominale ale lămpilor cu incandescență normale fabricate în R. S. România

De uz general						De iluminat local			
P_n [W]	Φ_n [lm] 120 V	Φ_n [lm] 220 V	P_n [W]	Φ_n [lm] 120 V	Φ_n [lm] 220 V	P_n [W]	Φ_n [lm] 12 V	Φ_n [lm] 24; 32 V	Φ_n [lm] 48; 65 V
15	120	105	150	2 080	1 770	15	147		144
25	217	190	200	2 880	2 540	25	245		240
40	372	312	300	4 680	4 270	40	425		416
60	613	517	500	8 000	7 350	60	648		636
75	840	690	1 000	17 700	16 700	100	--	1 170	1 160
100	1 210	1 040							
			Notă. Soclu E—40 pentru 300 . . . 1 000 W; restul, E—27.						

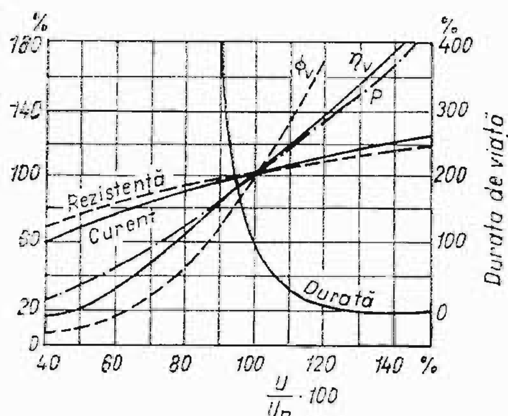


Fig. 5.5. Variația cu tensiunea de alimentare a parametrilor funcționali ai lămpilor cu incandescență.

— durata de funcționare scade cu creșterea tensiunii de alimentare. Astfel, dacă valoarea eficace a tensiunii rețelei de alimentare crește cu 5%, durata de funcționare se reduce la jumătate, iar dacă tensiunea scade cu 5%, durata de funcționare crește de două ori.

5.2.4. LĂMPI FLUORESCENTE

Lămpile fluorescente sînt lămpi cu descărcări cu balon fluorescent, la care lumina este emisă în principal de un strat de substanță fluorescentă, excitată ea însăși de radiația ultravioletă a descărcării.

Substanța fluorescentă (luminofor) se depune sub formă de pulbere pe peretele interior al balonului lămpii cu descărcări. Această substanță are un bun coeficient de absorbție pentru radiațiile cu frecvență mai mare, cum sînt radiațiile ultraviolete ale lămpilor cu mercur. Energia radiațiilor absorbite excită atomii substanței fluorescente, ai căror electroni sar pe orbite energetice superioare. Specific acestor substanțe este faptul că reîntoarcerea electronilor pe nivelele energetice inferioare (normale) se face în etape și prin urmare radiațiile electromagnetice care însoțesc aceste salturi au frecvențe mai mici decît cele ale undelor absorbite, deci plasate în domeniul vizibil. Așadar substanțele fluorescente se comportă ca modificatoare de frecvență a radiațiilor.

Acțiunea substanțelor fluorescente este mai complexă, acestea contribuind atît la îmbunătățirea compoziției spectrale a luminii radiate și la modificarea culorii, cît și la mărirea eficacității luminoase a lămpilor.

Lămpile fluorescente pot fi:
— la joasă presiune, numite și tuburi fluorescente;
— la înaltă presiune sau lămpi cu balon fluorescent.

A. Tuburile fluorescente se execută în general sub forma unui cilindru drept, avînd diferite diametre și lungimi, în funcție de puterea absorbită.

La capetele tubului de sticlă (fig. 5.6), sînt montați electrozii constînd dintr-un filament de wolfram spiralat și acoperit cu un strat activator din oxizi de pămînturi rare, cu rolul de a favoriza emisia de electroni, cînd electrodul este cald.

Tubul, vidat de aer și curățat de impurități, conține un gaz inert, în general argon și o picătură de mercur.

Amorsarea descărcării în tub se realizează după preîncălzirea electrozilor, prin aplicarea unei tensiuni de amorsare, avînd o valoare mai mare decît tensiunea de funcționare normală. Preîncălzirea electrozilor (care durează circa 2 secunde) asigură o puternică emisie termoelectronică și prin aceasta reducerea considerabilă a valorii necesare pentru tensiunea de amorsare.

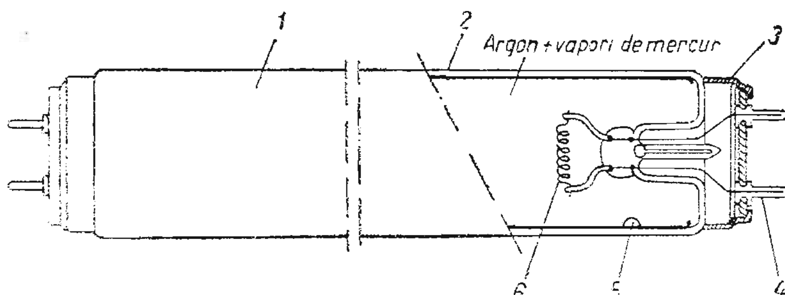


Fig. 5.6. Construcția unui tub fluorescent:

1 — tub de sticlă; 2 — pulbere fluorescentă; 3 — soclu; 4 — piciorus de contact; 5 — mercur; 6 — electrod.

La temperatura de 40 ... 50 °C a pereților tubului și la presiunea optimă de 0,01 mmHg, descărcarea în vaporii de mercur este însoțită de emisia preponderentă a radiațiilor ultraviolete cu $\lambda = 253{,}7$ nm. Acestea sînt absorbite de substanța fluorescentă depusă pe pereții tubului, care emite, pe această bază, radiații vizibile.

Condiții optime de funcționare ale tubului fluorescent se obțin pentru un curent de 0,25 ... 1 A, diametrul tubului fiind de circa 40 mm, iar lungimea între 0,4 și 1,5 m.

Lumina emisă de tuburile fluorescente este corespunzătoare, aceasta permițînd o redare fidelă a culorilor într-o gamă largă de nuanțe. Prin alegerea și combinarea adecvată a substanțelor fluorescente, se obțin diferite temperaturi de culoare, cuprinse în intervalul 2 900 ... 6 500 K, culorile corespunzătoare acestora fiind simbolizate în tabelul 5.2. Culoarea *alb lumina zilei* este foarte apropiată de aceea a luminii din zilele cu cer acoperit de nori; culoarea *alb cald* corespunde unei lumini cu o compoziție spectrală apropiată de aceea a lămpilor cu incandescență.

Tabelul 5.2

Culorile tuburilor fluorescente pentru iluminatul general

Denumirea culorii	Temperatura de culoare [K]	Simbolul culorii
Alb lumina zilei	6 500	1
Alb lumina zilei corectat	6 500	1x
Alb	4 300	2
Alb superior (de lux)	3 800	2x
Alb cald	3 000	3
Alb cald superior (de lux)	2 900	3x

De remarcat că, tuburi fluorescente avînd aparent aceeași culoare, pot emite radiații luminoase cu compoziții spectrale sensibil diferite. Astfel de lămpi nu vor asigura o redare identică a culorilor.

Fluxul luminos al diferitelor tuburi fluorescente depinde nu numai de puterea lămpii, ci și de temperatura de culoare a luminii emise, adică de fapt de natura substanței fluorescente. Eficacitatea luminoasă are valori ridicate, între 50 ... 70 lm/W.

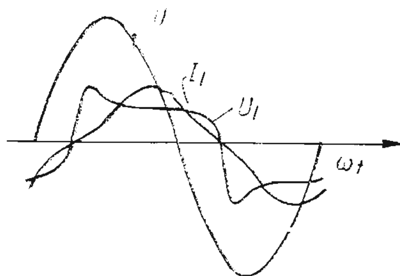


Fig. 5.7. Deformarea curbelor tensiunii U_l şi curentului I_l prin lampă pentru tubul fluorescent cu balast inductiv ($f = 50$ Hz).

Durata de funcţionare a acestor lămpi este de 2 000 ... 3 000 ore, fiind influenţată de numărul de întreruperi (la un număr mic de întreruperi şi perioade lungi de funcţionare, durata este mai mare) şi de distorsiunea (abaterea de la forma sinusoidală) curbei curentului prin lampă.

Deformarea curbei tensiunii şi curentului prin lampă (conform figurii 5.7) se datoreşte caracteristicii statice neliniare a descărcării în arc.

Luminanţa are valori scăzute de (3 ... 10) · 10^3 cd/m², ceea ce favorizează utilizarea tuburilor fluorescente pentru iluminatul încăperilor joase.

Mărimile electrice (tensiune U_l, curent I_l, putere P_l) şi fotometrice (flux luminos Φ_{vl}, eficacitate luminoasă η_v) caracteristice ale lămpilor fluorescente sînt influenţate în măsură mai mică de variaţiile tensiunii de alimentare, decît în cazul lămpilor cu incadescenţă. Variaţia acestor mărimi în funcţie de tensiunea reţelei, ilustrată în figura 5.8, este influenţată şi de natura defazajului tensiune-curent din circuitul lămpii. Semnificativ este faptul că, dacă în cazul lămpilor cu incandescenţă, eficacitatea luminoasă creşte cu creşterea tensiunii reţelei, la lămpile fluorescente efectul este invers.

Tuburile fluorescente produse în R. S. România au puteri de 14, 20, 40 şi 65 W. Se execută în trei variante:

— cu amorsare cu starter, pentru funcţionare în interior, la temperaturi care nu coboară sub 4 ... 5°C (simbol LFA). Acest tip se fabrică în toată gama de puteri;

— cu amorsare cu starter, pentru funcţionare la temperaturi mai scăzute, cu bandă metalizată la exteriorul tubului (simbol LFB). Se fabrică numai pentru puterea de 40 W;

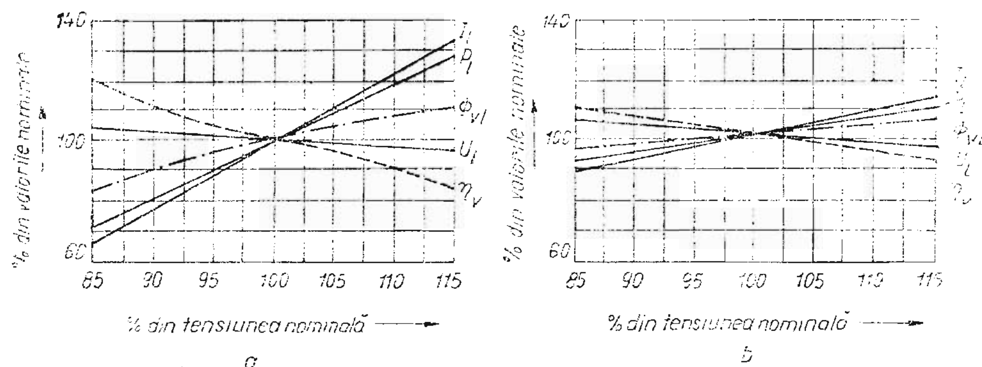


Fig. 5.8. Variaţia mărimilor caracteristice de funcţionare ale tuburilor fluorescente în funcţie de tensiunea reţelei:
a — cu balast inductiv; b — cu balast capacitiv.

Tabelul 5.3

Caracteristicile lămpilor fluorescente tubulare de joasă presiune cu durata nominală de 6 500 ore, fabricate în R. S. România [10]

Tipul lămpii	Puterea nominală [W]	Curentul nominal [A]	Tensiunea de arc inițială pe lampă [V]	Tensiunea minimă a rețelei la care are loc amorsarea [V]	Fluxul luminos nominal/inițial minim [lm] Simbolul culorii (STAS 6824–68) 1	1x	2	2x	3	3x	Lungimea [mm]	Observații
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
LFA 14	14	0,39	39 ± 6	90	475/435	450/405	580/530	560/530	590/540	390/350	377,8	Montaj cu starter
LFA 20	20	0,37	57 ± 7 67 ± 7	90	900/810 —	860/774 —	1 100/990 —	750/675 —	1 080/972 —	— 750/680	604,0	
LFA 40	40	0,43	103 ± 10	180	2 300/2 070	2 150/1 940	2 800/2 520	1 850/1 670	2 800/2 520	1 880/1 690	1 213,5	
LFA 65	65	0,67	110 ± 10	180	3 650/3 240	3 600/3 240	4 600/4 150	2 800/2 520	4 400/3 960	3 000/2 700	1 514,3	
LFB 40	40	0,44	—	—	2 200/—	2 000/—	2 650/—	1 680/—	2 650/—	1 780/—	1 213,5	Idem, pentru funcționare la temperaturi scăzute.
LFR 40	40	0,44	103 ± 10 113 ± 10	180	2 200/1 880 —	2 100/1 890 —	2 700/2 390 —	1 850/1 670 —	— 2 650/2 390	— 1 780/1 600	1 213,5	Montaj fără starter, aprindere la temperaturi scăzute

Observații.
- Diametrul tuburilor fluorescente este de 40,5 mm, indiferent de tip sau putere.
- Timpul maxim de aprindere este de 60 s pentru lămpile LFA și 10 s pentru lămpile LFR.
- Lămpile LFA 14 și LFA 20 pot fi alimentate atît la tensiunea rețelei de 120 V, cît și la 220 V, înscriindu-le balastul corespunzător (BIB, respectiv BIA).

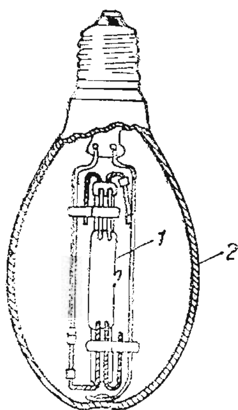


Fig. 5.9. Lampa fluorescentă cu mercur la înaltă presiune:

1 — lampă cu descărcări cu mercur la înaltă presiune; 2 — balon fluorescent.

— cu amorsare fără starter, pentru iluminatul exterior la temperaturi scăzute, pînă la —15 °C (simbol LFR). Aceste lămpi au de asemenea bandă metalizată și se fabrică numai pentru puterea de 40 W.

Caracteristicile tuburilor fluorescente fabricate în R. S. România sînt prezentate în tabelul 5.3.

B. Lămpile fluorescente cu (vapori de) mercur la înaltă presiune numite și lămpi cu balon fluorescent, constau dintr-o lampă cu descărcări cu mercur la înaltă presiune amplasată în interiorul unui balon fluorescent de formă ovoidală (fig. 5.9).

Fluxul luminos al acestor lămpi este format din radiațiile preponderent roșii ale luminoforului și din radiațiile din domeniul vizibil, zonele galben, verde și violet, ale descărcării în vapori de mercur. Lumina albă, rezultată prin suprapunerea acestor radiații, asigură o redare satisfăcătoare a culorilor.

Spre deosebire de lămpile fluorescente tubulare, care sînt sensibile la variațiile de temperatură ale mediului ambiant, lămpile cu balon fluorescent emit un flux luminos practic constant pînă la temperaturi ambiante de —20 °C.

Eficacitatea luminoasă variază între 30 și 50 lm/W.

Caracteristicile lămpilor fluorescente cu mercur la înaltă presiune tip LVF, produse în R. S. România, sînt indicate în tabelul 5.4.

Lămpile fluorescente cu mercur la înaltă presiune se întrebuințează la iluminatul halelor industriale, străzilor, terenurilor de sport, unde se cer fluxuri luminoase mari relativ concentrate și nu se impun condiții pretențioase de redare a culorilor.

Tabelul 5.4

Caracteristicile lămpilor fluorescente cu mercur la înaltă presiune, fabricate în R. S. România, pentru tensiunea de 220 V, 50 Hz [10]

Tipul lămpii	Caracteristicile electrice				Fluxul luminos [lm]			Tipul soclului	Dimensiuni de gabarit [mm]		
	Puterea nominală [W]	Curentul nominal [A]	Tensiunea minimă pentru funcționare stabilă [V]	Factorul de putere cos φ	Nominal	Inițial minim	După 2 000 ore funcționare		Lungimea totală maximă	Diametrul maxim al balonului	Diametrul maxim al gîtului balonului
LVF 80	80	0,80	200	0,50	3050	2590	2200	E 27	165	81	40
LVF 125	120	1,15	200	0,50	5500	4675	3970	E 27	184	91	43
LVF 250	250	2,05	200	0,55	11750	9985	8500	E 40	227	91	53
LVF 400	400	3,15	200	0,60	20000	17000	14500	E 40	292	122	58

C. Lămpile cu vapori de sodiu la înaltă presiune sînt asemănătoare cu lămpile cu vapori de mercur la înaltă presiune. Lampa propriu zisă, numită și arzător, este realizată din alumină sinterizată translucidă, iar ca mediu al descărcărilor folosește sodiu, mercur și gaze inerte. Se fabrică lămpi cu vapori de sodiu cu balon fluorescent (lămpile tip LPN) sau cu balon din sticlă clară (lămpile tip LPN T).

Principalele caracteristici ale lămpilor cu vapori de sodiu la înaltă presiune, sînt date în tabelul 5.5., evidențiind superioritatea acestora față de lămpile cu incandescență sau fluorescente cu vapori de mercur. Ca dezavantaj se poate menționa luminanța deosebit de ridicată, ceea ce obligă la utilizarea lor în hale industriale înalte, cu înălțimi peste 15 m și în exterior.

Pentru amorsare, se prevede un dispozitiv electric, ignitor tip DA—04, care suprapune tensiunii rețelei impulsuri de înaltă tensiune (3 ... 4,5 kV), determinînd astfel o descărcare rapidă între electrozii lămpii. Caracteristicile ignitorului DA—04, pentru amorsarea lămpilor cu vapori de sodiu, sînt prezentate în tabelul 5.6.

Descărcarea în lampă se stabilizează cu ajutorul balasturilor tip BNA 250 sau BNA 400, în funcție de puterea lămpii. Consumul maxim de putere al balasturilor este de 30 W.

Eficacitatea luminoasă ridicată (70 ... 120 lm/W) și proprietățile favorabile ale luminii monocromatice a sodiului au făcut ca aceste lămpi să fie utilizate în locurile în care este necesară o percepție mărită, fără a fi necesară o redare corectă a culorilor și anume: iluminatul

Tabelul 5.5

Caracteristicile lămpilor cu vapori de sodiu de înaltă presiune

Simbolul lămpii	Tip al balonului	Puterea nominală [W]	Tensiunea nominală [V]	Tensiunea pe lampă [V]	Lungimea L [mm]	Lățimea l [mm]	Soclul	Fluxul nominal [lm]	Durata nominală [h]	Balastul		Starterul
										Tip	P_n [W]	
LPN 250	elipsoidal fluorescent	250	220	100±15	220	90	E 40	18 000	10 000	BNA 250	30	ignitor
LPN T 250	tubular clar	250	220	100±15	257	46	E 40	20 000	10 000	BNA 250	30	
LPN 400	elipsoidal fluorescent	400	220	105±15	290	120	E 40	38 000	10 000	BNA 400	30	
LPN T 400	tubular clar	400	220	105±15	285	46	E 40	40 000	10 000	BNA 400	30	DA-04

Tabelul 5.6

Caracteristicile ignitorului DA-04 pentru amorsarea lămpilor cu vapori de sodiu

Caracteristicile	Valorile
Tensiunea de lucru [V]	187 – 242
Frecvența rețelei [Hz]	50
Puterea maximă a lămpii pe care o amorsează [W]	400
Amplitudinea impulsurilor furnizate [kV]	3 – 4,5
Tensiunea de blocare [V]	160 – 185
Numărul de impulsuri pe o perioadă	1
Dimensiunile [mm]	100 × 50 × 100
Greutatea [kg]	0,5

public, iluminatul halelor de turnătorie și forjă, iluminatul decorativ etc. În exterior, se utilizează la iluminatul drumurilor, intersecțiilor, piețelor, a nodurilor și triajelor de cale ferată. De asemenea, se recomandă pentru iluminatul platformelor industriale unde au loc degajări de fum sau praf și pentru iluminatul public al orașelor de munte cu ceață frecventă [6].

5.3. SCHEME ȘI ECHIPAMENTE DE CONECTARE LA REȚEA

La lămpile cu descărcări funcționînd în zona de descărcare luminiscentă, conectarea la rețea se face printr-un circuit care trebuie să conțină, în serie cu lampa, un balast, de obicei rezistiv, în acest scop putînd fi utilizată o lampă cu incandescență. Tensiunea de amorsare a descărcării luminiscente este de obicei mai mică decît tensiunea rețelei, astfel încît nu sînt necesare dispozitive speciale de amorsare.

Schemele de conectare ale lămpilor funcționînd în zona de descărcare în arc, trebuie să asigure îndeplinirea următoarelor două condiții de bază: lampa să se poată aprinde și să funcționeze stabil. În afara acestor condiții, prin conexiuni bine alese se pot obține rezultate ca: aprinderea directă după conectare, înlăturarea pîlpîirilor și îmbunătățirea factorului de putere [10].

Conectarea lămpilor cu descărcări în arc și a celor fluorescente la rețeaua electrică este posibilă prin folosirea următoarelor accesorii: starterul, balastul și transformatorul de înaltă tensiune.

În cele ce urmează se analizează rolul acestor accesorii în funcție de tipul lămpii fluorescente al cărui circuit îl deservesc.

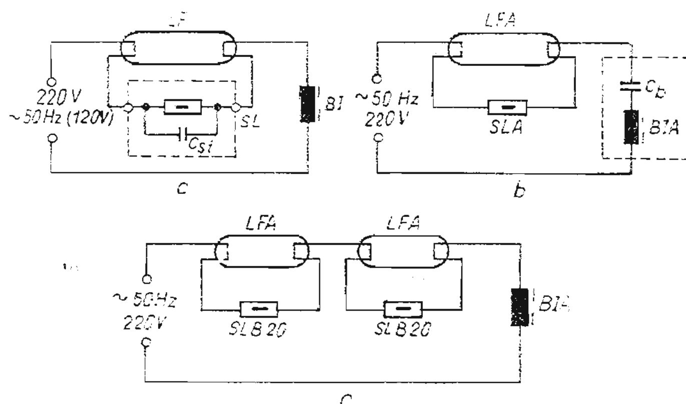


Fig. 5.10. Schemele de conectare la rețea a tuburilor fluorescente cu amorsare prin starter:

a — pentru o lampă LFA de 14 W, 20 W 40 W sau 65 W și pentru o lampă tip LFB 40, cu balast inductiv; *b* — pentru o lampă LFA 40 sau LFA 65 cu balast capacitiv; *c* — pentru două lămpi LFA 14 sau LFA 20.

a) Tuburile fluorescente la joasă presiune tip LFA și LFB (v. tab. 5.3) cu amorsare prin starter, se conectează la rețea conform schemelor prezentate în figura 5.10.

Starterul *SL*, conectat în paralel cu tubul fluorescent îndeplinește următoarele două funcțiuni:

— permite preîncălzirea electrozilor lămpii la o temperatură care asigură electrozilor o emisie termoelectronică suficientă și evaporarea parțială a mercurului din tub;

— întrerupe curentul din circuitul de preîncălzire a electrozilor, circuit în care filamentele electrozilor sînt înseriate.

Ambele funcțiuni sînt îndeplinite în etapa de pornire a lămpii. După amorsarea descărcării prin tubul fluorescent, starterul încetează să funcționeze, datorită faptului că tensiunea la bornele tubului amorsat este insuficientă pentru reaprinderea starterului.

Caracteristicile starterelor cu licărire produse în R. S. România sînt indicate în tabelul 5.7.

Tabelul 5.7

Caracteristicile starterelor cu licărire produse în R. S. România, pentru lămpi fluorescente de joasă presiune

Tipul starterului	Tensiunea de funcționare [V]	Pentru o singură lampă de tipul	Norma internă
SLB 20	75 ÷ 95	LFA 14 LFA 20	931—60
SLA 40	140 ÷ 180	LFA 40 LFB 40	
SLA 65	150 ÷ 180	LFA 65	

Observație. În prezent, starterele cu licărire sînt prevăzute cu casete din polietilenă.

Tabelul 5.8

Caracteristicile balasturilor inductive produse în R. S. România pentru lămpi fluorescente de joasă presiune (NI 917—65)

Tipul balastului	Lungimea de gabarit [mm]	Tensiunea nominală de alimentare a ansamblului lampă-balast [V]	Puterea maximă disipată pe balast [W]	Factorul de putere nominal al ansamblului lampă-balast $\cos \varphi_n$	Curentul absorbit [A]		Lămpi alimentate buc. × codul	Schema de conexiuni
					Preîncălzire I_p	Funcționare I_n		
BIA 14	105	220	10,5	0,25	0,45	0,39	1 × LFA 14	5.28, *a*
BIB 14	105	120	5,5	0,41	0,45	0,39	1 × LFA 14	5.28, *a*
BIA 20	105	220	10,5	0,35	0,45	0,39	1 × LFA 20	5.28, *a*
BIB 20	105	120	5,5	0,32	0,45	0,39	1 × LFA 20	5.28, *a*
			10,0	0,55	0,70	0,42	2 × LFA 20	5.28, *c*
BIA 30	105	220	9,0	0,45	0,50	0,39	2 × LFA 14	5.28, *c*
BIA 40	105	220	10,5	0,50	0,66	0,44	1 × LFA 40	5.28, *a*
							1 × LFB 40	5.28, *a*
							2 × LFA 20	5.28, *c*
BIA 65	150	220	14,5	0,50	1,10	0,69	1 × LFA 65	5.28, *a*
BRA 40	240	220	15,0	0,95	0,47	0,25	1 × LFR 40	5.29, *a*
BRB 40	150	220	15,0	0,95	0,47	0,25	1 × LFR 40	5.29, *b*

Observații. *1.* Pentru o tensiune a rețelei $U_r \in (0,9 \ldots 1,1)\ U_n$ curentul de preîncălzire poate să varieze în limitele $I_p \in (0,9 \ldots 2,1) I_n$

2. Balastul BIA 30 este fabricat pentru alimentarea lămpilor cu radiații ultraviolete bactericide, dar poate fi utilizat și pentru alimentarea în montaj tandem a două lămpi LFA 14, la 220 V.

Condensatorul C_{st} reprezentat în figura 5.10, *a* se consideră, în celelalte scheme (5.10, *b* și *c*), înglobat în starter. Avînd o capacitate mică și fiind conectat în paralel cu tubul fluorescent acest condensator formează o cale de scurtcircuit pentru oscilațiile de înaltă frecvență produse de tub.

Balastul *BI* (fig. 5.10, *a*) este o bobină cu miez de fier și întrefier, conectată în serie cu tubul fluorescent, avînd următoarele funcțiuni :

— produce un vîrf de tensiune la bornele lămpii, de o amplitudine mai mare decît cea a tensiunii rețelei de alimentare, cu scopul amorsării descărcării în arc ;

— limitează curentul prin lampă la o valoare care să nu ducă la distrugerea electrozilor.

Caracteristicile balasturilor inductive produse în R. S. România pentru tuburi fluorescente sînt indicate în tabelul 5.8.

În cazul legării în serie cu balastul inductiv normal a unui condensator cu o capacitate corespunzătoare, se obține un balast capacitiv (fig. 5.10, *b*) avînd factorul de putere în jur de 0,5 — capacitiv. Caracteristicile balasturilor capacitive sînt date în tabelul 5.9.

b) Tuburile fluorescente tip LFA și LFR cu amorsare fără starter au circuitele de conectare la rețea conform schemelor din figura 5.11.

Balastul pentru aprindere rapidă fără starter — tip BR — este format din două bobine L_1 și L_2, montate pe același circuit feromagnetic și condensatorul C_r, legat în serie cu bobina L_2.

Caracteristicile balasturilor capacitive pentru lămpi fluorescente tubulare

Tipul balastului inductiv	Condensatorul		
	Capacitatea [µF]	Toleranța [%]	Tensiunea nominală [V]
BIA 40	3,8	±5	380
BIA 65	5,8	±5	380

Conectarea în circuit a acestui tip de balast este indicată în figura 5.11, *a* și *b*. Se observă că balastul BRA 40 (fig. 5.11, *a*) are condensatorul C_r înglobat în carcasă, iar balastul BRB 40 (fig. 5.11, *b*) nu este prevăzut cu acest condensator, astfel încît C_r urmează a fi conectat ulterior în circuit.

Condițiile de amorsare a descărcării în tub sînt îndeplinite astfel:

— preîncălzirea electrozilor se realizează datorită valorii inițiale mai mari a curentului în circuitul acestora, care avînd bobinele L_1 și L_2 în serie cu condensatorul C_r prezintă o reactanță echivalentă suficient de mică;

— vîrful de tensiune este produs de circuitul rezonant serie L_2—C_r;

— limitarea curentului prin lampă, după amorsarea descărcării, este realizată de bobina L_1.

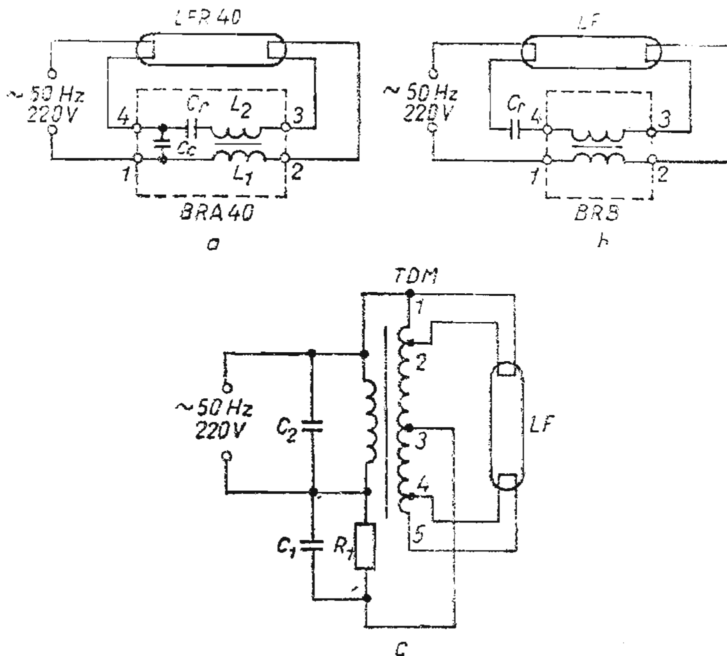


Fig. 5.11. Schemele de conectare la rețea a tuburilor fluorescente cu aprindere rapidă fără starter:

a — pentru o lampă tip LFR 40; *b* — pentru o lampă tip LFR 40 sau LFA 65 (Cr = 5 µF, 250 V); *c* — cu transformator cu dispersie magnetică mare.

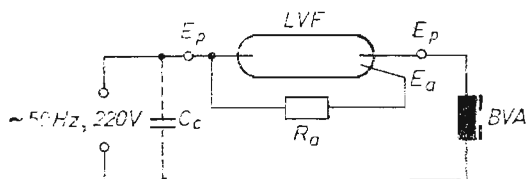


Fig. 5.12. Schema de conectare la rețea a lămpilor fluorescente cu mercur la înaltă presiune.

Balastul BRA 40 mai este prevăzut și cu un condensator C_c (fig. 5.11, *a*) pentru îmbunătățirea factorului de putere, legat în paralel cu tubul fluorescent.

O altă schemă de conectare pentru aprindere rapidă utilizează transformatorul cu dispersie magnetică mare *TDM* (fig. 5.11, *c*), care asigură amorsarea descărcării în lampă și funcționarea sa sigură chiar la temperaturi scăzute. Acesta este prevăzut cu două înfășurări *1—2*, respectiv *4—5* pentru încălzirea electrozilor și o înfășurare *1—5* ridicătoare de tensiune. Schema prevede un condensator C_1 pentru ușurarea aprinderii și un condensator C_2 pentru îmbunătățirea factorului de putere. După realizarea aprinderii, înfășurarea *3—4* îndeplinește rolul de balast.

c) Lămpile fluorescente cu mercur la înaltă presiune tip LVF se conectează la rețea conform schemei din figura 5.12.

Balastul BVA are rolul de a stabiliza descărcarea, limitînd curentul electric la o valoare admisibilă, care să nu distrugă electrozii. Caracteristicile balasturilor inductive tip BVA pentru lămpi fluorescente cu mercur la înaltă presiune sînt prezentate în tabelul 5.10.

Pentru îmbunătățirea factorului de putere a montajelor se recomandă montarea în paralel a unor condensatoare de compensare C_c (fig. 5.12), direct la bornele de alimentare ale sistemului lampă-balast.

Conectarea la rețea a lămpilor cu mercur la înaltă presiune se face similar cu a lămpilor fluorescente cu mercur la înaltă presiune.

Tabelul 5.10

Caracteristicile balasturilor pentru lămpi cu mercur la înaltă presiune

Mărimea caracteristică	Tipul balastului			
	BVA 80	BVA 125	BVA 250	BVA 400
Tipul lămpii la care se asociază	LVF 80	LVF 125	LVF 250	LVF 400
Tensiunea nominală [V]	220	220	220	220
Pierderi maxime de putere în balast [W]	10	13	18	23
Capacitatea condensatorului conectat în paralel cu ansamblul lampă-balast [μF]	6,3	10	20	25
Curentul absorbit de la rețea [A]:				
— fără condensator	0,80	1,15	2,05	3,15
— cu condensator	0,50	0,70	1,30	2,10
Factorul de putere al montajului cos φ:				
— fără condensator	0,50	0,50	0,55	0,60
— cu condensator	0,80	0,90	0,95	0,90

5.4. CORPURI DE ILUMINAT

5.4.1. GENERALITĂȚI

Utilizarea directă a surselor de lumină nu este posibilă în toate cazurile, deoarece acestea au, în general, o luminanță prea mare, supărătoare pentru ochi, iar distribuția fluxului lor luminos nu este întotdeauna cea mai avantajoasă din punct de vedere al obținerii, în condiții economice, a nivelului de iluminare prescris pe suprafețele iluminate.

Pentru a evita aceste inconveniente, sursele de lumină se includ în corpuri de iluminat.

Corpul de iluminat este un aparat care servește la distribuirea, filtrarea sau transformarea luminii lămpilor, constituit din toate piesele necesare pentru fixarea și protejarea lămpilor, precum și pentru conectarea acestora la circuitul de alimentare.

Părțile componente ale unui corp de iluminat pot fi grupate în două părți, cu rol funcțional distinct: sistemul optic și armătura.

a) Sistemul optic are rolul de a reduce luminanța lămpii, de a modifica compoziția spectrală și distribuția fluxului luminos al acesteia.

Sistemul optic cuprinde următoarele elemente:

— reflectoare, bazate pe fenomenul de reflexie;

— refractoare, bazate pe fenomenul de refracție;

— ecrane difuzante din substanțe translucide, care avînd suprafață mare, acoperă lămpile din corp, reducînd luminanța acestora prin difuzie;

— filtre colorate;

— grătare de ecranare, din elemente opace sau translucide, dispuse pentru a masca lămpile de vederea directă, sub un unghi determinat.

b) Armătura corpului constă din ansamblul pieselor, în general metalice, care asigură:

— fixarea lămpii (dulii) și a sistemului optic;

— alimentarea cu energie electrică (conductoare, balasturi, startere condensatoare etc.);

— protejarea lămpilor împotriva atingerii, prăfuirii sau umezelii (sticlă, grilaj de protecție).

5.4.2. CARACTERISTICI FOTOMETRICE

Principalele caracteristici fotometrice ale corpurilor de iluminat sînt: curbele fotometrice, randamentul și unghiul de protecție.

a) *Curba fotometrică* este reprezentarea grafică, în coordonate polare, a dependenței $I_v(\theta)$ a intensității luminoase a corpului de iluminat în funcție de unghiul de înălțime θ. Curbele fotometrice reprezintă secțiuni longitudinale prin corpurile fotometrice. În figura 5.13 se prezintă curbele fotometrice ale unor corpuri de iluminat; pentru caracterizarea unui corp fotometric simetric, corespunzător unui corp de iluminat, este suficientă o singură curbă fotometrică (fig. 5.13, *a*), în timp ce pentru corpuri fotometrice nesimetrice care admit două planuri de simetrie perpendiculare se

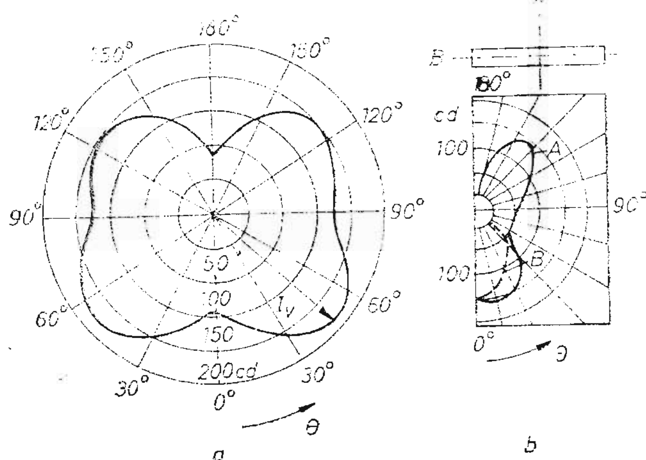


Fig. 5.13. Curbe fotometrice (longitudinale) pentru corpuri de iluminat:
a — simetrice; *b* — nesimetrice (cu tuburi fluorescente).

folosesc două curbe fotometrice, obținute în planele de simetrie respective (fig. 5.13, *b*).

În mod obișnuit, curbele fotometrice se trasează în ipoteza că fluxul luminos al surselor montate în corpul de iluminat este de 1 000 lm; valoarea reală I'_v a intensităților luminoase pentru un flux Φ'_{vl} al surselor de lumină din corp, diferit de 1 000 lm, se obține cu relația

$$I'_v(\theta) = I_v(\theta)\frac{\Phi'_{vl}}{1\,000}. \tag{5.25}$$

b) *Randamentul* η_c al corpului de iluminat, reprezentînd raportul dintre fluxul luminos Φ_{vc} al corpului de iluminat și fluxul luminos Φ_{vl} al lămpilor montate în corp,

$$\eta_c = \frac{\Phi_{vc}}{\Phi_{vl}}, \tag{5.26}$$

caracterizează corpul de iluminat din punct de vedere economic și depinde de materialele din care este executat sistemul optic al corpului și de construcția acestuia.

c) *Unghiul de protecție* δ (într-un anumit plan meridian) este unghiul dintre orizontală și linia limită sub care poate fi văzută lampa montată în corp (fig. 5.14). Această mărime caracterizează corpul de iluminat din punct de vedere al efectului de orbire pe care îl prezintă, deoarece vederea directă a izvorului de lumină este împiedicată de apărătoare, cînd se privește deasupra liniei limită. Corpurile de iluminat avînd unghiuri de protecție mai mici de 30°, nu asigură o protecție suficientă a ochiului față de luminanța sursei de lumină.

Unghiurile de protecție ale corpurilor de iluminat se realizează prin abajururi opace sau din sticlă lăptoasă.

În funcție de valoarea acestui unghi, prescripțiile pentru iluminatul artificial normează înălțimea minimă de fixare a corpurilor de iluminat, plecînd de la necesitatea de a se limita efectul de orbire.

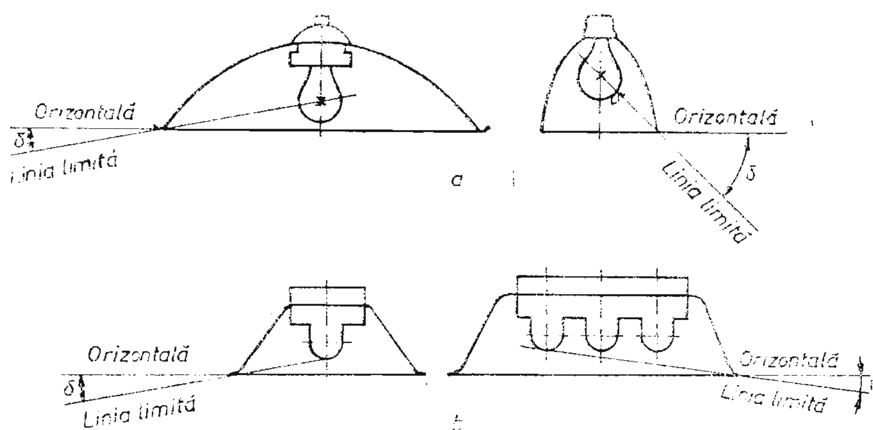


Fig. 5.14 Explicativă pentru definirea unghiului de protecție al corpurilor de iluminat: *a* — pentru lămpi cu incandescență; *b* — pentru tuburi fluorescente.

5.4.3. CLASIFICAREA CORPURILOR DE ILUMINAT

Corpurile de iluminat pot fi clasificate după mai multe criterii, dintre care cele mai importante sînt: felul surselor de lumină, distribuția fluxului luminos, felul instalației de iluminat, precum și particularitățile constructive și de fixare.

a) În funcție de felul surselor de lumină utilizate, corpurile de iluminat se pot clasifica în:

— corpuri de iluminat pentru lămpi cu incandescență;

— corpuri de iluminat pentru lămpi fluorescente.

b) După forma corpului fotometric, există corpuri de iluminat:

— simetrice, care au un corp fotometric de revoluție, caracterizabil printr-o singură curbă fotometrică;

— nesimetrice, al căror corp fotometric nu mai este un corp de revoluție. În cadrul acestora, se diferențiază corpuri fotometrice cu două plane de simetrie, caracterizabile prin două curbe fotometrice și corpuri fotometrice asimetrice, a căror caracterizare se face prin curbe izocandele (curbe de egală intensitate luminoasă).

c) În raport cu distribuția fluxului luminos Φ_{vc} al corpului în cele două emisfere — superioară ($\Phi_{\cap}$) și inferioară ($\Phi_{\cup}$) — obținute prin secționarea corpului fotometric printr-un plan orizontal care trece prin centrul corpului de iluminat, se deosebesc următoarele tipuri de corpuri de iluminat:

— direct, la care $\Phi_{\cup} \geqslant 0{,}9\ \Phi_{vc}$;

— semidirect, la care $\Phi_{\cup} = (0{,}6 \ldots 0{,}9)\ \Phi_{vc}$;

— mixt, la care $\Phi_{\cup} = (0{,}4 \ldots 0{,}6)\ \Phi_{vc}$;

— semiindirect, la care $\Phi_{\cap} = (0{,}6 \ldots 0{,}9)\ \Phi_{vc}$;

— indirect, la care $\Phi_{\cap} \geqslant 0{,}9\ \Phi_{vc}$.

Curbele fotometrice corespunzătoare unor astfel de corpuri sînt reprezentate în figura 5.15.

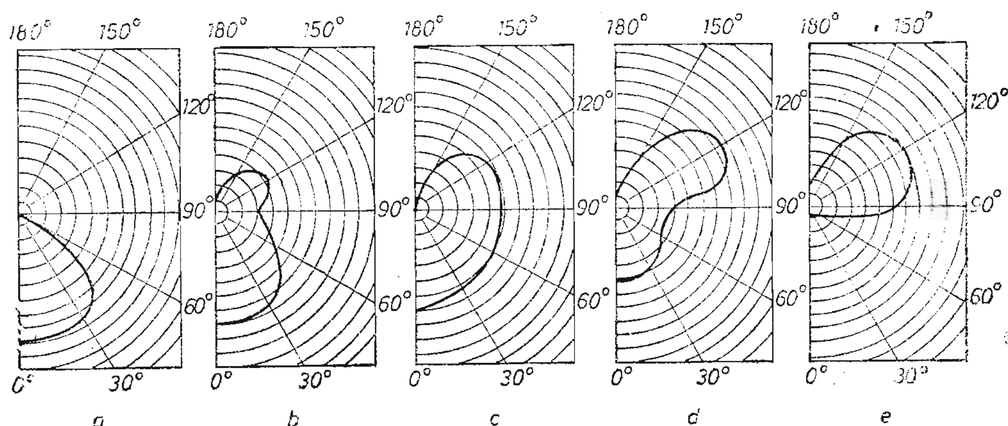


Fig. 5.15 Curbe fotometrice ale unor corpuri de iluminat simetrice, realizînd distribuții diferite ale fluxului luminos în emisferele superioară și inferioară:
a — direct; *b* — semidirect; *c* — mixt; *d* — semiindirect; *e* — indirect.

b) În funcție de mărimea unghiului solid în care se distribuie fluxul luminos (fig. 5.16), corpurile de iluminat pot fi:

— cu repartiție difuză, la care curba fotometrică poate fi asimilată cu un cerc (fig. 5.16, *a*);

— cu repartiție largă, care emit cel mult 50% din fluxul luminos Φ_{vc} în interiorul unui con de revoluție în jurul axei, avînd un unghi la vîrf de $2 \times 50°$ (fig. 5.16, *b*);

— cu repartiție mijlocie (fig. 5.16, *c*), care emit cel puțin 50% din fluxul luminos Φ_{vc} în interiorul unui con de revoluție în jurul axei sale, avînd un unghi la vîrf de $2 \times 50°$;

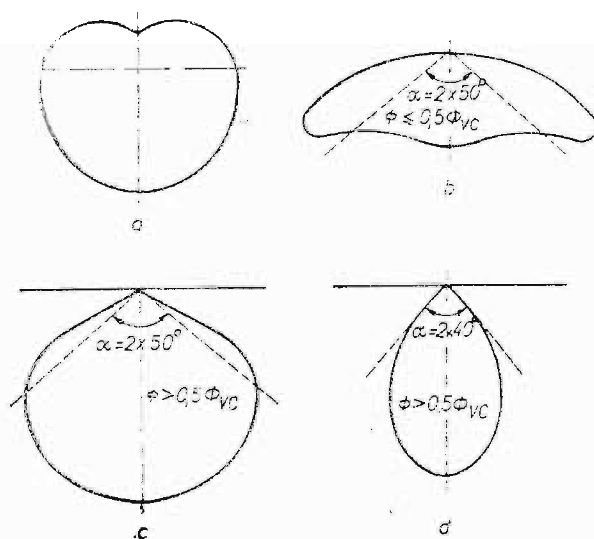


Fig. 1.16 Curbe fotometrice reprezentative pentru corpuri de iluminat cu repartiție:
a — difuză; *b* — largă; *c* — mijlocie; *d* — concentrată.

— cu repartiție concentrată (fig. 5.16, *b*), care emit peste 50% din fluxul lor luminos Φ_{vc} în interiorul unui con de revoluție în jurul axei, avînd un unghi la vîrf de 2 × 40°.

e) În raport cu felul instalației de iluminat, corpurile de iluminat se clasifică după cum urmează :

— pentru iluminatul interior ;
— pentru iluminatul exterior ;
— pentru instalații de iluminat etanșe (în mine, în medii explozive, corozive, umede, în ploaie sau în imersie etc.) ;
— cu utilizări speciale (săli de spectacole, vitrine, expoziții, iluminatul fără umbre etc.).

f) În funcție de particularitățile de execuție și de fixare, corpurile de iluminat se pot clasifica în :

— aplice, care sînt corpuri de iluminat fixate pe pereți ;
— plafoniere, fixate pe tavan ;
— pendule sau corpuri suspendate, fixate la extremitatea unui cordon, lanț, tub etc. ;
— corpuri de iluminat local (cu articulație, armonică etc.), montate pe utilaje, planșete, mese etc. ;
— corpuri de iluminat portabile, destinate a fi ținute sau transportate în mînă, fiind legate la rețeaua de alimentare printr-un cordon flexibil.

5.4.4. CORPURI DE ILUMINAT INDUSTRIAL

Corpurile de iluminat pentru lămpi cu incandescență sînt prezentate în tabelul 5.11. Acestea au , în general, o distribuție simetrică a fluxului luminos.

În tabelul 5.12 sînt indicate principalele tipuri de corpuri pentru lămpi fluorescente.

Corpurile de iluminat pentru tuburi fluorescente sînt constituite dintr-o armătură, cuprinzînd instalația electrică (conductoarele, balasturile, condensatoarele, starterele, duliile) și elementele de montaj sau suspendare și un sistem optic, cuprinzînd reflectoare și grătare dispersoare.

În tabelul 5.13 sînt indicate lungimile corpurilor de iluminat cu tuburi fluorescente, date necesare la amplasarea corpurilor în șiruri.

5.5. CLASIFICAREA INSTALAȚIILOR ELECTRICE DE ILUMINAT

Instalațiile electrice de iluminat se pot clasifica în funcție de locul de amplasare, natura surselor de lumină, direcția luminii, amplasarea corpurilor de iluminat în raport cu suprafețele iluminate și destinație.

a) În raport cu locul de amplasare a instalațiilor, acestea pot fi :

— de iluminat interior ;
— de iluminat exterior ;
— de iluminat etanșe ;
— speciale (săli de spectacole, vitrine, expoziții etc.).

Tabelul 5.11

Corpuri de iluminat pentru lămpi cu incandescență

Nr. crt.	Denumirea	Schița corpului de iluminat	Curba fotometrică la $\Phi_l = 1000$ lm	Randamentul	Utilizare	Observații
0	1	2	3	4	5	6
1	Armătură impermeabilă pentru montaj suspendat, tip P—IC			0,89	Iluminatul interior și exterior al locurilor expuse stropirii sau cu umiditate ridicată: băi, spălătorii, stații de pompare, iluminat exterior de incintă etc.	Tip P—IC—60 pentru lămpi de 60 W; tip P—IC—200 pentru lămpi de 200 W
2	Armătură impermeabilă pentru montaj pe perete, tipP—IB		Aceeași cu poz. 1	0,89	Idem poz. 1	Tip P—IB—60 pentru lămpi de 60 W; tip P—IB—200 pentru lămpi de 200 W.
3	Pendul cu glob opal, tip PE			0,79	Iluminatul încăperilor uscate cu plafon și pereți de culoare deschisă: — birouri, clase, cabinete medicale (lămpi de 100...200 W); — coridoare, casa scării, holuri, săli de așteptare, magazii, încăperi anexe (lămpi de 25...75 W).	Tip PE—80 pentru lămpi de 40W; tip PE—100 pentru lămpi de 100 W; tip PE—120 pentru lămpi de 150 W; tip PE—150 pentru lămpi de 200 W.

4	Plafonieră metalică cu glob opal, tip PA	160,190,200 250,300	Aceeași cu poz. 3	0,79	Idem poz. 3	Tip PA—80 pentru lămpi de 40W; tip PA—100 pentru lămpi de 100 W; tip PA—120 pentru lămpi de 150 W; tip PA—150 pentru lămpi de 200W
5	Aplică din aminoplast, dreaptă tip AA—D sau oblică tip AA—O	160 Aplică tip AA—D	Aceeași cu poz. 3	0,79	Iluminat general în încăperi cu nivel de iluminare sub 50 lx: culoare, dormitoare, băi, terase etc.	— se pot monta lămpi cu puteri pînă la 60 W; — tip AA—D cu fixare pe plafon; — tip AA—O cu fixare pe perete.
6	Armătură etanșă tip I—E	ϕ160 122 Tip I—ED—60	150° 180° 150° 120° 120° 90° 90° 40 80 120 60° 60° 30° 0° 30°	0,89	Iluminatul mediilor expuse umidității de pînă la 95% sau cu particule de praf în suspensie.	— puterea maximă a lămpii 60 W; — tip I—ED—60 pentru montaj aparent pe plafon; — tip I—EP—60 pentru montaj aparent pe perete.

Tabelul 5.11 (continuare)

0	1	2	3	4	5	6
7	Corp de iluminat antigrizutos și antiexploziv tip LMS–7	Φ 215	150° 180° 150° 120° 120° 90° 90° 60° 60° 40 80 120 160 cd 30° 30° 0°	0,69	Iluminatul general în locurile cu pericol de explozie.	— puterea lămpii poate fi de 100 sau 200 W; — etanșare cu pîlnie de racordare(P), niplu (N) sau racord G 3/4 (R); — tipuri de corpuri în baza celor de mai sus: LMS–7/100 (N,R) LMS–7/200P(N,R)
8	Corp de iluminat, antigrizutos, antiexploziv și cu capsulare antideflagrantă tip AI (sau AV).	Acest reper lipsește la corpurile AI	150° 180° 150° 120° 120° 90° 90° 60° 60° AV AI 40 80 120 160 cd 30° 30° 0°	075... 0,77 (tip AV)	„	Tip AI–200 pentru lămpi cu incandescență de 100 W (tipurile AV–80 și AV–125 pentru lămpi cu vapori de mercur de 80, respectiv 125 W). Se pot executa atît tip P cît și N (v. poz. 7).

Tabelul 5.12

Corpuri de iluminat pentru lămpi fluorescente

Nr. crt.	Denumirea	Schița corpului de iluminat	Curba fotometrică *) la Φ_l = 1000 lm	Randamentul	Utilizare	Observații
0	2	3	3	4	6	6
1	Corpuri de iluminat cu reflector, pentru tuburi fluorescente, tip FIRA		FIRA(S)—01 (1 lampă; 2 lămpi; 3 lămpi) FIRA(S)—02 (1 lampă; 2 lămpi; 3 lămpi)	0,822 (FIRA—01—1); 0,784 (FIRA—01—2); 0,74 (FIRA—01—3); 0,803 (FIRA—01—4); 0,77 (FIRA—02—1); 0,734 (FIRA—02—2); 0,69 (FIRA—02—3); 0,75 (FIRA—02—4).	Iluminatul general direct în încăperi industriale înalte, în medii fără agresivitate chimică, fără pericol de incendiu sau explozie, cu o umiditate maximă de 65% și temperaturi de +(5...35) °C.	Variantele FIRA—02 au reflectorul mai înalt; montarea directă pe plafon (FIRA) sau suspendat cu tije (FIRAS); unghiul de protecție este de 14° la FIRA—01 și de 20° la FIRA—02; variante de echipare: FIRA—01(02)—140; 165 240; 265 300; 365 440

* Cu linie continuă s-a trasat curba fotometrică în plan transversal, iar cu linie întreruptă cea din planul longitudinal.

Tabelul 5.12 (continuare)

0	1	2	3	4	5	6
2	Corpuri de iluminat pentru tuburi fluorescente, tip FIA – 01			0,94 (pt. 1,2 sau 4 lămpi); 0,96 (pt. 3 lămpi)	Utilizări generale în medii fără praf sau agenți agresivi, cu o umiditate maximă de 60%, la temperaturi de +(5...35) °C: încăperi înalte, depozite etc.	Variante: FIA – 01 – 120; 140; 165; FIA – 01 – 220; 240; 265; FIA – 01 – 340; 365; FIA – 01 – 420; 440,
3	Corpuri de iluminat pentru tuburi fluorescente tip FIA – 03			0,96 (cu 1 lampă); 0,955 (cu 2 lămpi); 0,93 (cu 3 lămpi)	Idem poz. 2	Variante: FIA – 03 – 120; 140; 165; FIA – 03 – 220; 240; 265; FIA – 03 – 340; 365
4	Corpuri de iluminat cu reflector perforat și grătar dispersor, tip FIAG – 01			0,7 (pt. 2 lămpi); 0,68 (pt. 4 lămpi)	Iluminatul general al încăperilor de lucru joase sau dacă se cere și un efect decorativ: încăperi pentru cercetare, proiectare, învățămînt.	Montare: direct pe plafon (FIAG – 01) sau suspendat prin tije (FIAGS – 01); variante de echipare: FIAG – 01 – 220; 240; 265; FIAG – 01 – 340; 365; FIAG – 01 – 420; 440

5	Corpuri de iluminat cu dispersor, tip FIDA—03			0,445	Iluminatul încăperilor cu condiții fotometrice pretențioase: spații pentru cercetare, centre de calcul, spitale, clădiri social-culturale, spații de învățământ etc.	Montare: direct pe plafon (FIDA) sau suspendat prin tije (FIDAS); variante de echipare: FIDA—03—120; 140; FIDA—03—220; 240; 265; FIDA—03—420; 440
6	Corpuri de iluminat, fluorescent, etanșe, pentru interior, tip FIPA—01	42±1; 155; 270; 1390	1tub 40W; 2tuburi 40W	0,96 (pt. 1 lampă); 0,924; (pt. 2 lămpi)	Iluminatul încăperilor cu conținut ridicat de umiditate și praf, la temperaturi de +(5...45) °C	Variante de echipare: FIPA—01—140; FIPA—01—240
7	Corpuri de iluminat etanșe, cu reflector, pentru interior, tip FIPRA—01	1390; 150; 110±2; 100	1tub 40W; 2tuburi 40W	0,88 (pt. 1 lampă); 0,74 (pt. 2 lămpi)	„	Variante de echipare: FIPRA—01—140; FIPRA—01—240
8	Corpuri de iluminat antiexplozive, tip CFS—02			0,7	În medii explozive sau cu pericol de incendiu	Variante constructive: — antigrizutos; — antiexploziv. Variante de echipare: CFS—02—114; 120; 140

Tabelul 5.12 (continuare)

0	1	2	3	4	5	6
9	Corp de iluminat antiex-ploziv, tip CFSM—01			,,	,,	Echipare: CFSM—01—240
10	Corpuri de iluminat tip PVB—7			0,73... 0,78	Iluminatul halelor industriale cu înălțimi peste 8 m, al depozitelor în aer liber, al străzilor, șoselelor și piețelor	Montare: suspendat pe cablu (s, sh), în prelungirea stîlpului (p) sau cu posibilitate dublă de montare, în prelungire sau în consolă (p, c); echipare: cu una sau două lămpi LVF sau LPN de 80... 1 000 W.
11	Corp de iluminat tip HVSC—04			0,54	Iluminat interior în hale și iluminat exterior	Montare: direct la plafon sau suspendat. Echipare: cu două lămpi cu vapori de sodiu LPN de 250 sau 400 W

12	Corp de iluminat etanş, tip IEV			0,496	Iluminatul încăperilor umede, în care umiditatea depăşeşte 97% şi al încăperilor cu degajări de praf combustibil.	Montare: dirtec pe grinzi sau suspendat pe cablu. Echipare: cu o lampă de 250W.
13	Corp de iluminat pentru exterior, tip PVA—2a			0,683 (pt. 1 lampă 250 W); 0,64 (pt. 1 lampă 400 W)	Iluminat exterior public sau de incintă, pe şantiere de construcţii-montaj etc.	Montare pe stîlp cu braţ. Echipare cu o lampă cu vapori de mercur de 250 sau 400 W.

Tabelul 5.13

Lungimile de gabarit L_c ale corpurilor de iluminat cu tuburi fluorescente

Tipul corpului	Tipul lămpilor	Lungimea L_c a corpului [mm]
FIRA	LFA 40 LFA 65	1 255 1 556
FIAG-01	LFA 20 LFA 40 LFA 65	627 1 237 1 537
FIPA, FIPRA	LFA 40	1 390

b) După natura surselor de lumină folosite se disting:

— cu lămpi cu incandescență;

— cu lămpi fluorescente;

— cu lumină mixtă, utilizînd combinații de lămpi din ambele categorii.

c) În funcție de direcția luminii emise de corpuri față de planul de utilizare se obține:

— iluminat *dirijat*, caracterizat prin faptul că lumina ajunge pe obiectele iluminate dintr-o direcție principală, ceea ce favorizează producerea umbrelor și realizarea contrastelor;

— iluminat *difuz*, caracterizat prin faptul că lumina nu vine dintr-o direcție principală asupra obiectelor iluminate, ceea ce favorizează reducerea luminanțelor.

d) După amplasarea corpurilor de iluminat în raport cu suprafețele iluminate, instalațiile de iluminat se clasifică in:

— iluminat *general*, care trebuie să realizeze iluminarea uniformă a unor spații sau zone și în care nu se ține seama de necesitățile particulare ale unor porțiuni din acele spații sau zone. Corpurile de iluminat sînt amplasate la distanță față de suprafețele iluminate, astfel încît sistemul de iluminat prezintă o bună difuzie, iar diferențele între luminanțele locurilor de lucru și ale suprafețelor înconjurătoare sînt reduse. Sistemul de iluminat general poate fi *uniform* sau *zonat* (iluminarea medie este aceeași, respectiv diferă de la o zonă la alta);

— iluminat *local*, care trebuie să realizeze iluminarea unor suprafețe relativ mici. În acest sistem de iluminat, corpurile de iluminat sînt amplasate în imediata apropiere a unuia sau mai multor locuri de muncă, realizîndu-se local un nivel de iluminare mai ridicat. Iluminatul local are avantajul realizării unei economii de energie electrică, deoarece suprafețe reduse sînt iluminate cu surse de lumină de mică putere;

— iluminat *combinat*, care constă în iluminarea unei suprafețe prin combinarea iluminatului general cu cel local sau cu iluminat general localizat. În acest caz, sistemul de iluminat general realizează un nivel minim de iluminare, suficient pentru desfășurarea activităților de ansamblu, iar cel local, respectiv general localizat — iluminarea suplimentară a locurilor cu muncă de precizie, mai exigente în privința nivelului de iluminare. Avantajele acestui sistem constau în înlăturarea umbrelor, realizarea unui consum mai redus de energie electrică în comparație cu iluminatul general și reglarea de la sine a fluxului luminos al instalației, după necesități. Costul inițial al instalației se apreciază ca fiind mai mare decît în cazul iluminatului general.

e) În funcție de destinația lor, instalațiile de iluminat se diferențiază în:

— instalații pentru *iluminat normal*, care au drept scop asigurarea condițiilor de desfășurare a activității normale în încăperile sau spațiile din construcțiile industriale sau civile;

— instalații pentru *iluminat de siguranță*, cuprinzînd corpurile pentru iluminatul de siguranță și care trebuie să funcționeze în cazul defectării sau nealimentării instalației electrice pentru iluminatul normal;

— instalații pentru *iluminat de pază*, care se prevăd pentru iluminatul necesar asigurării securității clădirilor sau incintelor în timpul nopții.

Instalațiile electrice pentru iluminatul de siguranță, după modul de alimentare și funcționare, sînt de patru tipuri, conform celor indicate în tabelul 5.14. În acest tabel se specifică sursele de alimentare la care se cuplează instalația de iluminat de siguranță de un anumit tip, atît în regim de funcționare permanent, cît și la defectarea instalației de iluminat normal, precum și modul în care trebuie să se realizeze trecerea de la o sursă la alta. Se menționează că instalațiile de siguranță de toate tipurile trebuie să funcționeze (să fie aprinse) tot timpul cît există persoane în clădirea respectivă [32].

În tabelul 5.15 sînt prezentate instalațiile electrice pentru iluminatul de siguranță, diferențiate după destinația lor. Dintre acestea, în instalațiile electrice industriale se pot prevedea următoarele instalații pentru iluminat de siguranță:

— pentru continuarea lucrului (tab. 5.15, poz. *1*);
— pentru evacuare (tab. 5.15, poz. *2*);
— pentru marcarea hidranților de incendiu (tab. 5.15, poz. *3*).

Tabelul 5.14

Tipuri de instalații electrice pentru iluminatul de siguranță

Tipul	Regimul de funcționare	Sursa de alimentare									Cuplarea la sursa de rezervă
		Baterie de acumulatoare			Grup electrogen						
		centrală, în regim tampon	centrală	locală, cu dispozitiv de comutare automată (lumobloccuri)	în rotație permanentă, cu cuplare automată în mai puțin de 2 s	cu pornire automată	Cale de alimentare cu nivel de rezervare I	Transformator sau branșament diferit de cel care alimentează iluminatul normal	Coloana de alimentare a TG sau a TP de forță, înaintea întreruptorului sau siguranțelor generale	Sursa de bază	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	permanent	×								×	automat
	la defectarea iluminatului normal	×			×						
2	permanent						×*			×	,,
	la defectarea iluminatului normal		×	×		×	×*				
3	permanent							×		×	automat
	la defectarea iluminatului normal			×				×			
4	permanent									×	manual
	la defectarea iluminatului normal								×		

* Soluție permisă numai pentru iluminatul de siguranță pentru continuarea lucrului

Instalații electrice pentru iluminatul de siguranță

Nr. crt.	Destinația	Rol	Condiții de prevedere	Tipul instalației de siguranță, cf. tab. 5.14
0	1	2	3	4
1	Continuarea lucrului	permite continuarea lucrului la defectarea instalației pentru iluminat normal	— locuri de muncă cu receptoare de categoria zero și *I*, precum și cele legate de necesitatea de asigurare a funcționării acestor receptoare; — locurile în care sînt montate armături, dispozitive de comandă și control ale unor instalații sau utilaje ce trebuie acționate în caz de incendiu; — încăperile centralei de avertizare a incendiilor și de garare a utilajelor PCI;	2
			— locuri de muncă cu receptoare care necesită executarea unor operații în vederea opririi lucrului; — încăperi industriale, laboratoare etc., unde utilajul necesită o permanentă supraveghere	3
2	Pentru evacuare	permite evacuarea clădirii	— încăperi sau clădiri în care se pot găsi simultan mai mult de 100 persoane; — clădiri de producție fără iluminat natural sau avînd înălțimea peste 45 m, clădiri administrative cu public, cu vestiare, cantine etc., în care se pot afla: — peste 1 500 persoane; — 601 ... 1 500 ,, ; — mai puțin de 600 persoane; — clădiri cu înălțimea între 28 și 45 m (cu excepția clădirilor de locuit), în care se pot afla: — peste 601 persoane; — 201 ... 600 persoane sau 101 ... 200 în clădirile cu subsol; — 101 ... 200 persoane în clădiri fără subsol sau 50 ... 100 persoane — pe traseul și la ieșirile: — scărilor fără lumină naturală ale clădirilor cu peste 5 niveluri; — căilor de evacuare a mai mult de 50 persoane	4 2 3 4 2 3 4 3(4) 4
3	Contra panicii	permite evacuarea încăperilor cu aglomerări de persoane	Săli de spectacole cu peste 400 (1 500) locuri	2(1)
4	Pentru circulație	permite distingerea unor obstacole de pe traseele de circulație din încăperi cu aglomerări de persoane	Săli de spectacole	2(1)

0	1	2	3	4
5	Pentru veghe	permite supravegherea în timpul nopții în anumite încăperi (spitale, creșe etc.)	Încăperi pentru dormitoare cu persoane care nu se pot evacua singure, unde este necesară o supraveghere în timpul nopții.	4(3,2)
6	Pentru marcarea hidranților de incendiu	permite identificarea poziției hidranților în timpul nopții	În clădirile care funcționează noaptea sau la lumină artificială, numai în cazul în care iluminatul de siguranță pentru evacuare din acestea nu asigură distingerea hidranților.	—

Pentru celelalte instalații de iluminat de siguranță, tratate succint în tabelul 5.15, se recomandă, în caz de nevoie, consultarea suplimentară a lucrării [32].

Instalațiile de siguranță contra panicii, pentru circulație, pentru veghe și pentru marcarea hidranților de incendiu se vor alimenta din aceeași sursă ca și iluminatul de evacuare din clădirea respectivă.

5.6. CONDIȚIILE DE CALITATE ALE ILUMINATULUI

Luminanța fiind mărimea fotometrică recepționată direct de ochiul omenesc și care determină intensitatea senzației luminoase, calitatea unei instalații de iluminat electric depinde de nivelul și repartiția luminanței în cîmpul vizual. Datorită dificultăților de calcul a luminanțelor în diferitele puncte ale suprafețelor de iluminat și de normare a nivelurilor necesare de luminanță, prescripțiile din diferite țări cuprind recomandări pentru nivelurile iluminărilor care trebuie realizate în instalații și dau indicații mai mult calitative în ceea ce privește nivelurile și repartiția luminanțelor.

Condițiile care caracterizează calitatea unei instalații de iluminat sînt următoarele :

— nivelul de iluminare ;
— uniformitatea iluminării ;
— compoziția spectrală a luminii ;
— direcția luminii și umbrele ;
— luminanța și contrastele de luminanță.

Gradul de satisfacere al acestor condiții depinde de importanța instalației și de activitatea care se desfășoară în spațiul de iluminat. Limita superioară a acestui grad este fixată numai de criterii de ordin economic, deoarece instalațiile de iluminat electric nu ating parametrii iluminatului natural, care reprezintă condițiile cele mai favorabile pentru activitatea omenească [11].

a) *Nivelul de iluminare* al suprafețelor sau obiectelor trebuie să aibă o valoare suficient de mare, pentru a corespunde activităților care se desfășoară în spațiul deservit de instalație.

Valorile minime admisibile ale iluminărilor medii pentru clădirile industriale sînt indicate în tabelul 5.16; acestea se referă la planul util sau de lucru (suprafața medie la nivelul căreia se apreciază că se execută lucrările), considerat, în general, la o înălțime de 0,85 ... 1 m față de pardoseală pentru încăperile de producție și la nivelul pardoselii pentru căile de acces și de transport, garaje, depozite de mărfuri și alte încăperi în care lucrul se efectuează la sol.

Tabelul 5.16

Niveluri normate de iluminare medie pentru categorii de lucrări din industrie

Nr. crt.	Categoria lucrării vizuale și dimensiunea minimă a detaliului reprezentativ	Subcategoria lucrării vizuale	Contrastul dintre detaliu și fond	Caracteristica fondului	Nivelul de iluminare medie normat (lx)
0	1	2	3	4	5
1	*I.* Lucrări de precizie deosebită (detalii sub 0,1 mm)	*a*	mic	întunecat	3 000
		b	mic mic mediu	luminos mediu întunecat	2 000
		c	mediu mediu mare	luminos mediu întunecat	1 500
		d	mare	luminos mediu	750
2	*II.* Lucrări de mare precizie (detalii între 0,1 ÷ 0,3 mm)	*a*	mic	întunecat	2 000
		b	mic mic mediu	luminos mediu întunecat	1 000
		c	mediu mediu mare	luminos mediu întunecat	750
		d	mare mare	luminos mediu	500
3	*III.* Lucrări de precizie (detalii între 0,3 ÷ ÷ 0,5 mm)	*a*	mic	întunecat	1 000
		b	mic mic mediu	luminos mediu întunecat	750
		c	mediu mediu mare	luminos mediu întunecat	500
		d	mare mare	luminos mediu	400

0	1	2	3	4	5
4	*IV*. Lucrări de precizie medie (detalii între 0,5÷1 mm)	*a*	mic	întunecat	750
		b	mic mic mediu	luminos mediu întunecat	350
		c	mediu mediu mare	luminos mediu întunecat	200
		d	mare mare	luminos mediu	150
5	*V*. Lucrări de precizie mică (detalii peste 1 mm)	—	—	—	150
6	*VI*. Lucrări care necesită supravegherea generală continuă a procesului de producție. (În punctele unde se fac citiri de aparate, acționări de dispozitive și controlul produselor se va prevedea iluminat general localizat, care va asigura un nivel de iluminare corespunzător dificultății vizuale a lucrărilor de la punctele respective).	—	—	—	75
7	*VII*. Spații de acces la utilaje și instalații cu supraveghere periodică (în zona utilajelor și instalațiilor supuse supravegherii se va asigura un nivel de iluminare corespunzător dificultății lucrărilor vizuale din aceste zone).	—	—	—	30

Observații.

— Prin dimensiunile detaliilor se înțeleg mărimile anumitor părți ale obiectului privit (de exemplu: firul unei țesături, un punct, o zgîrietură, o pată, o cifră, o diviziune sau fracțiune de măsură etc.).

— Se consideră:

— fond întunecat, dacă coeficientul de reflexie este mai mic de 0,2;

— fond mediu, dacă coeficientul de reflexie este cuprins între 0,2 și 0,4;

— fond luminos, dacă coeficientul de reflexie este mai mare de 0,4.

— Contrastul dintre detaliu și fond se consideră:

— mic pentru valori sub 0,2 (detaliul se distinge slab pe fond);

— mediu, pentru valori cuprinse între 0,2 și 0,5 (detaliul se distinge simțitor pe fond);

— mare, pentru valori peste 0,5.

Contrastul se calculează cu relația:

$$X = \frac{L_d - L_f}{L_d},$$

în care: L_d este luminanța detaliului, în nit;

L_f — luminanța fondului, în nit.

La folosirea iluminatului general combinat cu iluminat local, indiferent de sursa folosită pentru iluminatul local, iluminarea pe planul de lucru dată de instalația de iluminat general va fi de minimum 10% din valoarea indicată în tabelul 5.16, dar nu mai mică de 150 lx și nu mai mare de 500 lx.

În anumite situații, nivelul de iluminare se admite a fi ridicat cu o treaptă de pe scara iluminărilor (v. par. 5.7.7). Dintre acestea se menționează [28]:

— dacă distanța dintre ochi și obiectul observat este mai mare de 0,5 m, la categoriile *I* ... *V* de lucrări vizuale;

— dacă efortul vizual are loc în mod continuu, mai mult de jumătate din ziua de lucru sau dacă detaliile urmărite sînt în mișcare, la categoriile *I* ... *V* de lucrări vizuale;

— dacă există pericol mărit de accidentare, la categoriile *V* și *VI*;

— în încăperile cu exigențe sanitare deosebite (industria alimentară, farmaceutică etc.), cele lipsite de lumină naturală sau cu iluminat natural insuficient, dacă în aceste încăperi se lucrează permanent;

— în încăperile destinate pentru învățămîntul profesional în producție, dacă iluminarea normată este sub 300 lx.

Creșterea nivelului de iluminare cu o treaptă se va aplica o singură dată, chiar dacă în spațiul de lucru respectiv se îndeplinesc simultan mai multe din condițiile enumerate mai sus.

În cazul depozitelor interioare cu obiecte voluminoase sau cu materiale în vrac, iluminările medii minim admisibile sînt:

— 50 lx, în depozitele în care există mijloace de transport și macarale;

— 30 lx, în celelalte situații.

În cazul iluminatului de siguranță pentru continuarea lucrului se recomandă adoptarea unor iluminări reprezentînd 10% din nivelul prescris pentru iluminatul normal; în cazuri speciale, nivelul iluminării medii creat de instalația de iluminat de siguranță pentru continuarea lucrului se va stabili după necesitate.

În cazul iluminatului de siguranță pentru evacuare, valorile normate ale iluminării medii se stabilesc la 0,5% din iluminarea medie realizată în încăpere, dar nu sub 0,5 lx în spații închise și 0,3 lx în spații deschise.

Valorile minime ale iluminărilor pentru spațiile industriale deschise sînt date în tabelul 5.17. Nivelurile de iluminare pentru iluminatul exterior

Tabelul 5.17.

Niveluri normate de iluminare pentru categorii de lucrări industriale exterioare

Categoria lucrării vizuale	Caracteristici vizuale	Valoarea iluminării normate orizontale [lx]
VIII	Lucrări la care raportul dintre mărimea minimă a obiectului de distingere și distanța de la ochi este de 0,005	50
IX	Lucrări la care raportul de mai sus este cuprins între 0,005 și 0,02	30
X	Lucrări la care raportul de mai sus este cuprins între 0,02 și 0,05	20
XI	Lucrări cu mecanisme care necesită doar o supraveghere atentă generală asupra procesului de producție	10
XII	Lucrări manuale grosiere, care necesită doar o distingere a obiectelor mari, aflate în imediata apropiere a lucrărilor	5
XIII	Intrări pentru vehicule (porți) Drumuri auto cu mișcare intensă	5 2

au valori scăzute, deoarece finețea lucrărilor care se execută în exterior nu este prea mare.

În cazul în care există pericol mărit de accidentare, nivelul de iluminare pentru categoriile *XI* și *XII* se mărește cu o treaptă pe scara nivelurilor de iluminare.

În tabelul 5.18 se indică nivelurile de iluminare pentru căile de circulație și pentru teritoriile întreprinderilor industriale.

Tabelul 5.18

Niveluri normate de iluminare pentru teritoriile și căile de circulație ale întreprinderilor industriale

Spațiul de iluminat	Nivelul de iluminare [lx]	Observații
Depozite de aglomerat, cărbuni, cocs, lingouri de oțel, minereu	20	Industria siderurgică
Magazii descoperite (cherestea, produse finite)	20	,,
Parcuri de rezervoare (local)	10...30	Industria chimică
Depozite exterioare (butoaie, lăzi)	10	,,
Căi ferate (pasaje, ace, cîntare)	10	
Drumuri uzinale	5	Industria siderurgică
Căi de circulație cu trafic intens, intrări pentru vehicole (porți)	3	
Platforme de depozitare	2	Centrale și stații electrice
Pasaje, treceri, podețe de scări etc. cu trafic redus	2	
Stații exterioare, construcții exterioare pentru transformatoare	2	
Drumuri	2	Termocentrale și stații electrice
Căi de circulație cu trafic redus	1	
Iluminat de pază:		
— pe o fîșie periferică de 10 m lățime	1	
— pe teritoriu în ansamblu	0,3	

b) *Uniformitatea iluminării* se exprimă prin doi factori de uniformitate: minim-maxim E_m/E_M și minim-mediu E_m/E_{med}, ale căror valori minime admisibile sînt date în tabelul 5.19.

Instalațiile de iluminat trebuie să asigure o iluminare cît mai uniformă pe planul util, evitîndu-se prin aceasta obosirea ochiului supus unor eforturi repetate de adaptare, de la un nivel de iluminare la altul.

Tabelul 5.19

Valorile minime admisibile ale factorilor de uniformitate a iluminărilor

Categoria construcțiilor	Factori de uniformitate	
	E_m/E_M	E_m/E_{med}
Construcții industriale categoriile *I, II, III, IV, V*	0,3	0,65
Construcții industriale categoriile *VI, VII*	0,2	0,4
Pe planul de lucru la locurile de muncă	0,65	—
Construcții civile	—	0,5
Suprafețe de circulație	—	0,25

Uniformitatea iluminării se realizează prin amplasarea corespunzătoare a corpurilor de iluminat. La iluminatul direct, pentru a realiza o repartiție cît mai uniformă a iluminărilor pe planul de lucru, corpurile de iluminat trebuie să fie montate la o înălțime cît mai mare și la distanțe cît mai mici unul de celălalt. La iluminatul indirect, corpurile de iluminat trebuie să fie amplasate la înălțimi mai mici față de planul util, pentru a se asigura o repartiție cît mai uniformă a iluminărilor pe tavan.

c) *Compoziția spectrală* a luminii influențează contrastul dintre detaliu și fond și redarea culorilor, determinînd efectul fiziologic și psihologic al iluminatului.

Sursele de lumină trebuie să aibă, în general, o culoare corespunzătoare particularităților locurilor iluminate. Pentru a se evita contrastele neplăcute de culoare, nu se vor utiliza surse de culori diferite în iluminarea unei suprafețe de lucru [8].

Confortul vizual este direct legat de culoare și de nivelul de iluminare. Culorile caracterizate printr-o temperatură de culoare mai mică (zona galben—roșu) se numesc culori calde, deoarece creează o ambianță plăcută, odihnitoare; acestea se utilizează în cazul unor nivele de iluminare mai scăzute. Culorile caracterizate prin temperaturi de culoare ridicate (spre alb—albastru), denumite reci din considerente psihologice, se întîlnesc la nivele de iluminare ridicate.

Corelația între culoare, caracterizată prin temperatura de culoare și nivelul de iluminare, pentru realizarea confortului vizual este exprimată prin diagrama de confort vizual a lui Kruithof, prezentată în figura 5.17. Pe diagramă sînt trasate dreptele de abscisă constantă pentru temperaturile de culoare ale tuburilor fluorescente, marcarea fiind făcută prin simbolurile corespunzătoare ale culorilor (v. tab. 5.2).

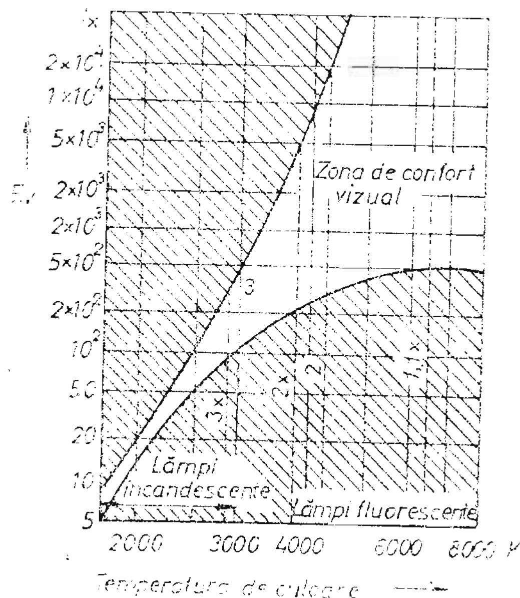


Fig. 5.17 Diagrama de confort vizual a lui Kruithof.

La iluminatul exterior, redarea culorilor poate fi mai puțin importantă și în orice caz, subordonată criteriilor economice.

d) *Direcția luminii și umbrele* depind în mare măsură de sistemul de iluminat.

Obiectele iluminate cu lumină dirijată prezintă umbre accentuate, marginile lor sînt bine reliefate, ceea ce asigură perceperea ușoară a detaliilor; contrastele de luminanță sînt însă mari.

În opoziție cu această situație se prezintă iluminarea obiectelor în lumină general difuză, obținută printr-o așezare regulată și simetrică a corpurilor de iluminat. Obiectul fiind iluminat din mai multe direcții, prezintă umbre slabe, contras-

tele de luminanță sînt mai mici, creîndu-se o ambianță plăcută și reconfortantă.

c) *Luminanța și contrastele de luminanță* sînt factori de calitate dintre cei mai importanți pentru instalațiile de iluminat, deoarece, așa cum s-a mai arătat, luminanța este mărimea care influențează direct ochiul omenesc.

Dacă luminanța obiectelor (surse de lumină, obiecte privite etc.) aflate în cîmpul vizual depășește anumite valori, pot avea loc fenomene de orbire (orbirea este o senzație vizuală neplăcută însoțită de reducerea aptitudinii de a distinge obiectele).

Pentru înlăturarea orbirii, corpurile de iluminat trebuie să fie prevăzute cu elemente de protecție (difuzante), care să reducă luminanța acestora, iar înălțimea minimă de suspendare a corpurilor să se coreleze cu unghiul de protecție, luminanța și puterea lămpilor corpului, conform tabelului 5.20.

Factorii de reflexie și culorile diferitelor părți ale suprafețelor din interiorul încăperilor determină repartiția valorilor luminanțelor pe aceste suprafețe.

Pentru evitarea sau diminuarea fenomenului de orbire, provocat de contrastele de luminanță ale diferitelor suprafețe din cîmpul vizual, se recomandă respectarea următoarelor raporturi:

— 3 : 1 între luminanțele obiectului observat și a cîmpului vizual din imediata vecinătate;

— 10 : 1 între luminanțele obiectului observat și a cîmpului vizual înconjurător;

— 20 : 1 între luminanțele corpurilor de iluminat și a suprafețelor învecinate;

— 40 : 1 între luminanțele a două puncte oarecare din cîmpul vizual.

5.7. PROIECTAREA INSTALAȚIILOR DE ILUMINAT INTERIOR

5.7.1. DATE DE PROIECTARE

Cunoașterea detaliată a tuturor mărimilor și aspectelor, de care trebuie ținut cont în proiectarea instalațiilor de iluminat, este de o importanță primordială. În mod firesc, toate *datele inițiale de proiectare* se referă la încăperea pentru care se face proiectarea iluminatului și la activitățile care se desfășoară în ea. Acestea sînt:

a) denumirea încăperii, din care să rezulte destinația sa;

b) dimensiunile încăperii: lungimea L_1, lățimea L_2 și înălțimea H, în m;

c) caracteristicile mediului din încăpere și încadrarea acesteia din punct de vedere al pericolului de incendiu și explozie, necesare la stabilirea gradului de protecție a echipamentelor și a tehnologiei de execuție a instalației. De asemenea, trebuie precizat modul în care se degajă praful, fumul sau funinginea, ceea ce determină factorul de depreciere Δ al corpu-

Tabelul 5.20.

Înălțimile minime de suspendare și unghiurile de protecție pentru montarea corpurilor de iluminat

Destinația încăperii	Corpuri de iluminat cu reflector					Corpuri de iluminat din materiale difuzante, cu luminanța de max. 5 000 nt		
	Lămpi cu luminanță minimă de 10 000 nt			Lămpi cu o luminanță de la 5 000 pînă la 10 000 nt		Puterea lămpii [W]	Dimensiunile maxime ale încăperilor în care se montează	
	Înălțimea de montare deasupra pardoselii [m]	Puterea lămpii [W]	Unghiul de protecție	Înălțimea de montare deasupra pardoselii [m]	Unghiul de protecție		lățime	lungime
0	1	2	3	4	5	6	7	8
Școli, birouri și instalații industriale speciale	Nu se recomandă		—	Oricare	45° în plan transversal față de axa lămpii, 30° în plan paralel cu axa lămpii	max. 200	$4H_0$	$6H_0$
						min. 200	$3H_0$	$3H_0$
Interioare industriale, în general	min 6	Orice fel	15°	min 6	12°	max. 200	$5H_0$	Oricît de mare
	2,5 ÷ 6	100 ÷ 300	20°		20° în plan transversal pe axa lămpii	min. 200	$4H_0$	Oricît de mare
	max 2,5	1 000 ÷ 150	30°	max 6				
Încăperi cu iluminat local	—	—	30°	—	20°	Luminanța maximă 1 500		
Depozite, treceri, încăperi, în care nu se lucrează în permanență etc.	—	—	10°	Nu este obligatorie ecranarea dacă lampa nu este vizibilă de la locul de muncă		Nu se limitează		

Observații: — H_0 este înălțimea de montare a corpurilor de iluminat, măsurată de la nivelul ochilor, în m;

— Înălțimile de montare din acest tabel nu sînt obligatorii în cazul folosirii lămpilor cu incandescență cu balon de sticlă opacă, cu o putere de maximum 40 W, cum și a corpurilor de iluminat cu o luminanță de maximum 1 500 nt;

— Se vor considera lămpi cu luminanța mai mare de 10 000 nt cele cu incandescență, cele cu vapori de sodiu; lămpi cu luminanța între 5 000 și 10 000 nt se vor considera tuburile fluorescente.

Factorul de depreciere Δ al corpurilor de iluminat în instalațiile industriale

Caracteristicile încăperii	Factori de depreciere Δ		Periodicitatea de curățire a corpurilor de iluminat
	lămpi cu descărcări sau fluorescente	lămpi cu incandescență	
Încăperi în care se degajă mult praf, fum sau funingine (turnătorii, fabrici de ciment, filaturi etc.)	1,8	1,5	o dată pe lună
Încăperi cu degajare medie de praf, fum sau funingine (încăperi normale din industrii).	1,5	1,3	o dată la trei luni
Încăperi cu puțin praf, fum sau funingine (laboratoare, birouri etc.) și în spații exterioare.	1,5	1,1	o dată la șase luni

rilor de iluminat, conform tabelului 5.21 ; acest factor de depreciere indică reducerea fluxului luminos al corpurilor de iluminat în timpul exploatării, datorită murdăririi și uzurii acestora ;

d) amplasarea utilajelor, a locurilor de muncă și caracterul lucrărilor care se execută în încăpere. Pe această bază, din tabelul 5.16 se determină iluminarea medie minimă E_{adm}, stabilindu-se în același timp înălțimea h_u a planului de utilizare.

Este util a se cunoaște dacă utilajele dispun de corpuri de iluminat local și de ce tip ;

e) categoriile receptoarelor și numărul persoanelor din încăpere, cu ajutorul cărora se stabilesc, pe baza tabelului 5.15, felurile instalațiilor de iluminat de siguranță care trebuie prevăzute ;

f) existența unor mecanisme și piese în mișcare de rotație, caz în care urmează a se lua măsuri de limitare a efectului stroboscopic ;

g) structura și zugrăveala pereților și a tavanului. Astfel, structura tavanului prezentînd grinzi, nervuri etc. influențează în mare măsură amplasarea corpurilor de iluminat. Existența unor stîlpi sau coloane de susținere trebuie avută de asemenea în vedere. Structura pereților este determinantă pentru alegerea tehnologiei de execuție a instalației.

În funcție de zugrăveala pereților și tavanului, se determină [3] factorii de reflexie ai pereților ρ_p, respectiv tavanului ρ_t ; dacă pereții sau tavanul prezintă zone cu coeficienți de reflexie diferiți (zugrăveli diferite, ferestre, panouri montate pe pereți etc.), se recomandă determinarea unor coeficienți de reflexie echivalenți, prin medii ponderate.

Contribuția iluminatului natural trebuie precizată, pentru a se avea în vedere partiționarea iluminatului normal și necesitatea prevederii iluminatului de siguranță de evacuare ;

h) pozițiile și dimensiunile căilor de acces ; dacă acestea sînt comune sau nu și pentru alte încăperi ;

i) existența unor utilaje de mari dimensiuni, a podurilor rulante, a instalațiilor electrice de forță, de încălzire, ventilație etc.

5.7.2. ALEGEREA SISTEMULUI DE ILUMINAT ȘI A ECHIPAMENTULUI ELECTRIC

Alegerea corectă a sistemului de iluminat prezintă importanță atît din punct de vedere al eficienței instalației de iluminat, cît și din punct de vedere al economicității ei.

Primul criteriu de alegere a sistemului de iluminat (general-uniform sau zonat, iluminat general combinat cu iluminat local sau cu iluminat general localizat) este legat de destinația și scopul instalației.

Astfel, sistemul de iluminat general se adoptă în următoarele cazuri:

— activitățile nu au un caracter localizat;

— densitatea locurilor de muncă este mare;

— atenția persoanelor trebuie să fie distribuită pe suprafețe mai mari.

Sistemul de iluminat general uniform se adoptă pentru:

— spațiile de lucru în care totalitatea lucrărilor se încadrează în aceeași categorie de dificultate vizuală, dacă nivelul de iluminare normat nu depășește 500 lx;

— spațiile de lucru în care locurile de muncă nu au o poziție fixă.

În primul caz, nivelul mediu de iluminare generală va fi corespunzător categoriei de dificultate vizuală în care se încadrează lucrările. În cazul al doilea, nivelul de iluminare este determinat de încadrarea lucrărilor predominante din încăpere, urmînd ca pentru lucrările mai pretențioase să se folosească iluminatul local.

Sistemul de iluminat general zonat se va folosi în halele monobloc, în care diversele faze ale procesului tehnologic se efectuează în zone bine delimitate. Nivelul de iluminare în fiecare zonă va corespunde dificultății vizuale a lucrărilor din zona respectivă.

Sistemele de iluminat combinat sau localizat se recomandă cînd se cer niveluri de iluminat superioare, pentru locuri de muncă izolate, în care activitatea are un caracter individual. Aceste sisteme aduc o serie de avantaje din punct de vedere al iluminatului și din punct de vedere economic, printre care se menționează următoarele:

— este posibilă amplasarea corpului de iluminat local (suplimentar) în poziția cea mai avantajoasă, în funcție de natura lucrărilor;

— se realizează nivelurile de iluminare locale ridicate, cu surse de lumină de puteri mici;

— se pot obține, în funcție de necesități variații de culoare a luminii, limitate la zone locale;

— cheltuielile de întreținere sînt mai mici decît la sistemul de iluminat general;

— economicitatea instalației este superioară, deoarece nivelul de iluminare generală poate fi menținut la o valoare mai mică, iar lămpile locale se pot scoate din funcțiune individual, menținîndu-se iluminatul local numai în zonele în care se desfășoară activitatea.

În vederea economisirii energiei electrice, la proiectare se va urmări reducerea ponderii iluminatului general uniform și extinderea iluminatului localizat și a celui local [28].

Sistemul de iluminat general combinat cu iluminat local se va folosi în spațiile în care lucrările se încadrează în diferite categorii de dificultate vizuală, iar locurile de muncă nu sînt grupate în zone bine delimitate în funcție de dificultatea vizuală a lucrărilor. Nivelul de iluminare general

din încăpere va fi cel corespunzător categoriei de dificultate vizuală în care se încadrează numărul cel mai mare de lucrări, iar pentru lucrările mai pretențioase se va prevedea iluminat local suplimentar.

Sistemul de iluminat general combinat cu iluminat general localizat se va aplica în spațiile în care lucrările se încadrează în diferite categorii de dificultate vizuală, iar locurile unde se efectuează lucrări pretențioase sînt grupate în zone bine delimitate. Nivelul de iluminare general din încăpere se alege corespunzător categoriei de dificultate vizuală în care se încadrează lucrările cu ponderea cea mai mare în încăpere. Dacă nivelul de iluminare necesar este mai mare de 500 lx, se stabilește nivelul de iluminare mediu general la minimum 10% din iluminarea normată pe planul de lucru, dar nu mai puțin de 150 lx. Pentru lucrările mai pretențioase se prevede un iluminat general localizat, care să ridice iluminarea planului de lucru la nivelurile normate corespunzătoare.

Alegerea surselor electrice de lumină se poate face pe baza recomandărilor din tabelul 5.22, indicații suplimentare fiind cuprinse în lucrarea [3].

Tabelul 5.22

Indicații privind alegerea surselor electrice de lumină

Felul activității sau încăperii	Lămpi cu incandescență	Lămpi fluorescente
— Lucru continuu (>8 h/zi), $E < 100$ lx	*R*	*P*
— Lucru continuu (> 8 h/zi), $E > 100$ lx	*P*	*R*
— Lucru intermitent (<2 h/zi)	*R*	*P*
— Lucru cu aprinderi frecvente (>20 zi)	*R*	*P*
— Lucru cu aprinderi rare (<20/zi)	*P*	*R*
— Lucru la temperatura – 18 °C . . . –40 °C	N	*R*
— Lucru la temperatura < – 18 °C sau > + 40 °C	*R*	*N*
— Lucru în hale industriale	*N*	*R*
— Lucru cu piese în rotație	*P*	*P***
— Odihnă, recreație	*R*	*P*
Iluminat local în clădiri	*R*	*P*
Iluminat de siguranță în clădiri	*R*	*P**
Iluminat exterior	*P*	*R*

Notă. *R* = recomandat; *P* — permis; *N* = nepermis (interzis).

* Tipul tuburilor va fi ales conform condițiilor din normativul I. 7—78.

** Numai cu montaje prin care se reduce pîlpîirea.

În ceea ce privește corpurile de iluminat, acestea trebuie să corespundă surselor de lumină alese și să aibe gradul de protecție cerut de mediul din încăpere. Alegerea corpurilor de iluminat se poate face consultînd indicațiile de utilizare din tabelele 5.11 și 5.12, ținînd cont de cerința de a se prevedea corpuri de iluminat cu distribuția directă, semidirectă sau mixtă a fluxului luminos, evitînd pe cele cu distribuție indirectă, care se vor folosi numai în cazuri excepționale [28].

Dacă tavanul încăperii are proprietăți reflectante și poate contribui la iluminarea planului de lucru, este recomandabil să se aleagă corpuri de iluminat cu o distribuție semidirectă sau mixtă a fluxului luminos.

Avînd în vedere că alegerea sursei de lumină și a corpului de iluminat nu poate fi considerată definitivă în acest stadiu al proiectării, se recomandă doar o alegere de principiu, care să nu implice neapărat precizarea și a puterii lămpilor, a numărului de lămpi din corp etc.

5.7.3. STABILIREA NIVELULUI DE ILUMINARE

În raport cu sistemul de iluminat ales se stabilește, pe baza tabelului 5.16, valoarea minimă admisibilă E_{adm} a iluminării medii, ținînd cont și de categoria lucrărilor din încăpere.

Pentru ușurarea încadrării unor spații de lucru specifice diferitelor ramuri industriale cu niveluri normate de iluminare medie, se recomandă consultarea suplimentară a lucrării [28].

Dacă s-a ales iluminatul combinat, se stabilește în prealabil iluminarea E_l pe care o poate produce sistemul de iluminat local sau general localizat, rămînînd ca prin iluminatul general să se realizeze iluminarea medie

$$E_g = E_{adm} - E_l, \qquad (5.27)$$

care trebuie să respecte indicațiile date la paragrafele 5.6 și 5.7.2.

Deoarece în continuare se dimensionează numai instalația de iluminat general, se menține notația E_{adm} pentru iluminarea medie minimă pe care aceasta trebuie să o realizeze, fie că această valoare s-a obținut direct din tabelul 5.16, fie că s-a calculat cu relația (5.27). De asemenea, indicele v utilizat la mărimile fotometrice se va evita în continuare, din considerentul de simplificare a notațiilor.

5.7.4. AMPLASAREA CORPURILOR DE ILUMINAT GENERAL

A. Înălțimea de suspendare h a corpurilor deasupra planului util se stabilește în funcție de considerente constructive sau practice. De exemplu, în unele hale industriale, corpurile de iluminat se așază pe fermele acoperișului, deasupra podurilor rulante, astfel că înălțimea lor de suspendare este impusă. În general, înălțimea de suspendare se determină cu relația

$$h = H - h_u - h_c, \qquad (5.28)$$

în care : H este înălțimea încăperii ;
h_u — înălțimea planului util față de pardoseală ;
h_c — lungimea pendulului corpului, dictată de tipul de corp ales, de evitarea fenomenului de orbire (v. tab. 5.20) și de posibilitățile concrete de amplasare a corpurilor pe tavan. Lungimea pendulului nu poate fi aleasă prea mare, pentru a se evita intrarea în oscilație a corpurilor de iluminat.

Limita inferioară a înălțimii de suspendare este determinată de evitarea efectului de orbire, iar limita superioară — de înălțimea tavanului.

B. Amplasarea în plan a corpurilor de iluminat este strîns legată de îndeplinirea condițiilor de uniformitate a iluminării și de luminanțe admisibile.

Prin amplasarea corpurilor de iluminat la distanţe mici între ele, se obţine o bună uniformitate, însă costul instalaţiei rezultă exagerat.

Este necesar să se aleagă o soluţie cît mai economică (număr minim de corpuri, $E_{med} \approx E_{adm}$), care să conducă la respectarea factorilor de uniformitate ceruţi. Prin urmare, la amplasarea în plan a corpurilor de iluminat se urmăreşte determinarea numărului minim de corpuri, care asigură iluminarea planului de lucru în condiţiile de uniformitate impuse.

Recomandările de amplasare corespunzătoare a corpurilor de iluminat se dau în funcţie de tipul corpului, tipul sursei de lumină şi cotele verticale de montaj ale corpurilor de iluminat.

Corelarea amplasării in plan, deci a distanţelor dintre corpuri, cu cotele verticale de montaj se face prin intermediul distanţei relative d_* dintre corpurile de iluminat:

$$d_* = \frac{d}{h}. \qquad (5.29)$$

În cazul iluminatului direct, h reprezintă înălţimea de suspendare deasupra planului util, iar in cazul iluminatului mixt şi indirect se foloseşte lungimea pendulului h_c (distanţa de la corpul de iluminat la tavan).

Amplasarea în plan a corpurilor se tratează separat pentru corpurile punctiforme şi cele liniare. Un corp de iluminat poate fi considerat punctiform dacă cea mai mare dintre dimensiunile sale L_c îndeplineşte relaţia:

$$\frac{L_c}{h} < \frac{1}{5}, \qquad (5.30)$$

în care h este înălţimea de suspendare deasupra planului util. La o sursă liniară, cea mai mare dintre dimensiunile corpului nu îndeplineşte relaţia (5.30), dar cea mai mică trebuie să fie conform acestei relaţii, altfel sursa trebuie considerată panou luminos.

1) *Amplasarea surselor punctiforme*

Dispunerea uniformă a corpurilor de iluminat se obţine prin aşezarea acestora în vîrfurile unor dreptunghiuri sau triunghiuri, orientate în raport cu dimensiunile încăperii, după cum se indică în figura 5.18.

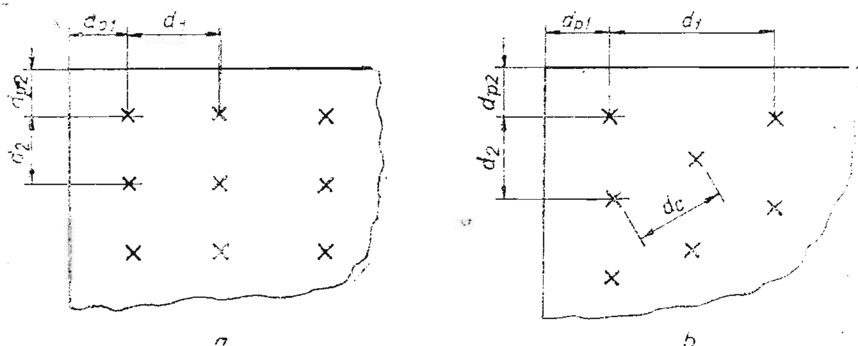


Fig. 5.18. Amplasarea în plan a surselor punctiforme:
a — în vîrfurile unor dreptunghiuri; *b* — în vîrfurile unor triunghiuri.

Valorile distanței relative d_*, dintre două corpuri de iluminat apropiate, depinde de felul distribuției fluxul luminos pe care acestea o realizează (forma curbei fotometrice):

— la iluminatul direct cu lămpi fluorescente . . $d_* = 0,5 \ldots 1,0$;
— la iluminatul direct cu lămpi cu incandescență . $d_* = 0,5 \ldots 0,7$;
— la iluminatul mixt . . . . $d_* = 1,0 \ldots 1,2$;
— la iluminatul indirect . . . . $d_* = 1,2 \ldots 1,5$.

Pentru un anumit factor de uniformitate, soluția optimă din punct de vedere economic se obține dacă $d_1 = d_2$ în cazul așezării în dreptunghi și $d_2 = d_c$, sau $d_1 = \sqrt{3}d_2$, în cazul așezării în triunghi.

Distanța d_p de la ultimul rînd de corpuri pînă la perete se adoptă

$$d_p = k_p d, \tag{5.31}$$

în care coeficientul k_p are valoarea

$$k_p = (0,25 \ldots 0,3), \tag{5.32}$$

cînd există utilaje sau mese de lucru amplasate în apropierea pereților și

$$k_p = (0,4 \ldots 0,5), \tag{5.33}$$

cînd lîngă pereți există spațiu de trecere.

Ținînd cont de faptul că pe una din dimensiunile L_i ale încăperii se dispun N_i corpuri, deci $(N_i - 1)$ distanțe dintre corpuri, iar la capete mai rămîne cîte o distanță d_p pînă la pereți, se poate scrie egalitatea

$$L_i = (N_i - 1)d_i + 2k_p d_i, \tag{5.34}$$

în care $d_i = d_* h$ reprezintă distanța dintre două corpuri pe direcția în care dimensiunea încăperii este L_i.

Din relația (5.34) se poate determina numărul de corpuri pe dimensiunea L_i a încăperii:

$$N_i = \frac{L_i}{d_* h} + (1 - 2k_p), \quad i = 1;\ 2. \tag{5.35}$$

Prin această relație, limitei inferioare d_{*m} îi corespunde un număr maxim de corpuri N_{iM}, iar limitei superioare d_{*M} — un număr minim de corpuri N_{im}. Numărul de corpuri ales N_i se va încadra între aceste limite:

$$N_{im} \leqslant N_i \leqslant N_{iM}, \tag{5.36}$$

cît mai apropiat de limita inferioară $N_i \approx N_{im}$, astfel încît iluminarea medie realizată să depășească cu o valoare minim posibilă iluminarea medie minimă. În calcule se recomandă a se porni cu numărul minim de corpuri.

Determinarea numărului de corpuri N_i pe o dimensiune L_i a încăperii conform relației (5.36), se poate face cu ajutorul nomogramei din figura 5.19, parcurgînd-o în sensul indicat prin săgeți, cu valorile concrete de calcul pentru mărimile care intervin.

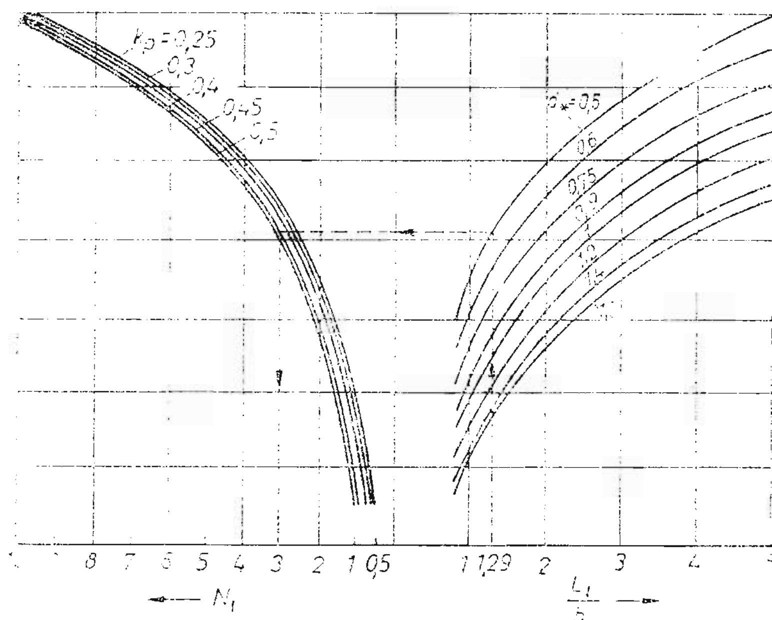


Fig. 5.19. Nomogramă pentru determinarea numărului N_l de corpuri de iluminat pe o dimensiune L_l a încăperii.

2) *Amplasarea surselor liniare*

Corpurile de iluminat cu tuburi fluorescente se repartizează de obicei în benzi continui sau discontinui, după cum se indică în figura 5.20.

Valorile recomandate pentru distanțele relative sînt:

— $d_{1*} \leqslant 0,7$, în cadrul aceleiași benzi;

— $d_{2*} \leqslant 0,6$, între două benzi paralele.

Distanța la perete se încadrează la fel ca și la sursele punctiforme.

Spre deosebire de cazul surselor punctiforme, dimensiunea încăperii paralelă cu benzile este:

$$L_1 = (N_1 - 1)d_1 + L_c + 2k_p d_1, \tag{5.37}$$

astfel că numărul de corpuri pe bandă este:

$$N_1 = \frac{L_1 - L_c}{d_{1*}h} + (1 - 2k_p); \tag{5.38}$$

în aceste relații L_c este lungimea corpului de iluminat.

După definitivarea numărului de corpuri N_1 din cadrul unei benzi trebuie verificat ca distanța d_1 dintre două corpuri apropiate

$$d_1 = \frac{L_1 - L_c}{(N_1 - 1) + 2k_p} \tag{5.39}$$

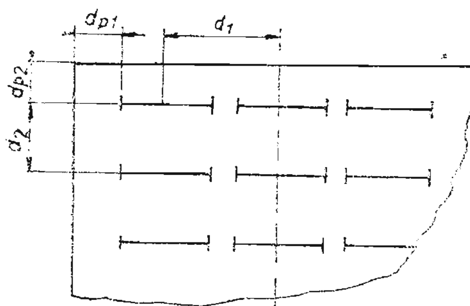


Fig. 5.20. Amplasarea în plan a surselor liniare (tuburi fluorescente).

să fie mai mare decît lungimea de gabarit L_c a corpului de iluminat (v. tab. 5.13)

$$d_1 > L_c.$$

După determinarea prin calcul sau cu ajutorul nomogramei din figura 5.19 a numerelor de corpuri N_1 şi N_2 amplasate pe lungime, respectiv lăţime, se calculează numărul total de corpuri N_c din încăpere

$$N_c = N_1 \cdot N_2. \qquad (5.40)$$

5.7.5. CALCULUL FOTOMETRIC PRIN METODA FACTORULUI DE UTILIZARE

Această metodă permite determinarea iluminării medii orizontale pe planul util al unei încăperi, ţinînd seama de fluxul luminos reflectat de pereţi şi tavan. Metoda nu poate fi folosită la calculul iluminatului local, iluminatului suprafeţelor înclinate şi verticale, iluminatului cu corpuri de iluminat de dimensiuni mari.

Din fluxul total Φ_{tl} al tuturor surselor de lumină montate în corpurile de iluminat dintr-o încăpere, numai o parte Φ_{tc} este distribuită în încăpere (fig. 5.21), datorită pierderilor de flux din corpuri (prin absorbţie de către elementele componente ale sistemului optic). Pierderi ale fluxului se înregistrează şi în încăpere, datorită absorbţiei luminii de către pardoseală, pereţi şi tavan, astfel încît pe planul util ajunge numai o parte a fluxului Φ_{tc}, numită flux util Φ_u.

Raportul dintre fluxul util şi fluxul total al lămpilor defineşte factorul de utilizare u

$$u = \frac{\Phi_u}{\Phi_{tl}}, \qquad (5.41)$$

în expresia căruia poate fi evidenţiat randamentul corpurilor, conform relaţiei

$$u = \frac{\Phi_u}{\Phi_{tc}} \cdot \frac{\Phi_{tc}}{\Phi_{tl}} = \eta_u \eta_c ; \qquad (5.42)$$

$\eta_u = \Phi_u/\Phi_{tc}$ este un randament al încăperii, denumit *utilanţă*.

Deoarece fluxul util iniţial Φ_{ui} se poate determina dacă se cunosc suprafaţa A a planului util, iluminarea medie minimă E_{adm} şi factorul de depreciere Δ, în baza relaţiei (5.15) de legătură dintre aceste mărimi şi care se scrie în acest caz

$$\Phi_{ui} = \Delta E_{adm} A, \qquad (5.43)$$

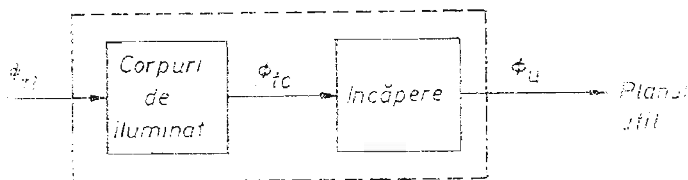


Fig. 5.21. Explicativă pentru definirea factorului de utilizare.

problema calculului fluxului total Φ_{lt} al lămpilor se rezolvă cu relația (5.41) dacă se cunoaște factorul de utilizare.

După cum reiese din relația (5.42), factorul de utilizare depinde de o serie de parametri ca:

— randamentul corpurilor de iluminat;

— distribuția fluxului luminos al corpurilor în cele două emisfere (direct, semidirect, mixt etc.);

— factorii de reflexie ai pereților ρ_p și tavanului ρ_t;

— forma încăperii.

Forma unei încăperi se caracterizează prin indicele i al încăperii, definit de relația

$$i = \frac{L_1 L_2}{h(L_1 + L_2)}, \tag{5.44}$$

care reprezintă raportul dintre aria planului util și 1/2 din aria laterală a pereților, care contribuie la iluminarea planului util prin lumina reflectată de aceștia.

Factorii de utilizare sînt tabelați [11, 16] în funcție de parametrii menționați. Deoarece există și alte relații de calcul ale indicelui încăperii [3], factorii de utilizare se vor determina din acele tabele, la întocmirea cărora indicele încăperii s-a calculat cu relația considerată.

Dacă randamentul η_c' al corpurilor de iluminat, care s-a ales la paragraful 5.7.2, este diferit de randamentul η_c avut în vedere la stabilirea valorilor factorului de utilizare, factorul de utilizare u obținut trebuie corectat cu relația

$$u' = u \frac{\eta_c'}{\eta_c}, \tag{5.45}$$

u' fiind factorul de utilizare real.

Din relațiile (5.41) și (5.43) se deduce expresia pentru calculul fluxului total al lămpilor din încăpere

$$\Phi_{lt} = \frac{E_{adm} A \Delta}{u'}. \tag{5.46}$$

Fluxul lămpilor dintr-un corp Φ_{lc} este dat de relația

$$\Phi_{lc} = \frac{\Phi_{lt}}{N_c} \tag{5.47}$$

sau introducînd expresia pentru Φ_{lt} conform relației (5.46) se obține:

$$\Phi_{lc} = \frac{E_{adm} A \Delta}{u' N_c}, \tag{5.48}$$

relație care stă la baza întocmirii nomogramei din figura 5.22.

Cu ajutorul nomogramei se poate determina fluxul lămpilor dintr-un corp, dacă se atribuie iluminării medii E_{med} (din primul cadran) valoarea medie minimă admisibilă E_{adm}.

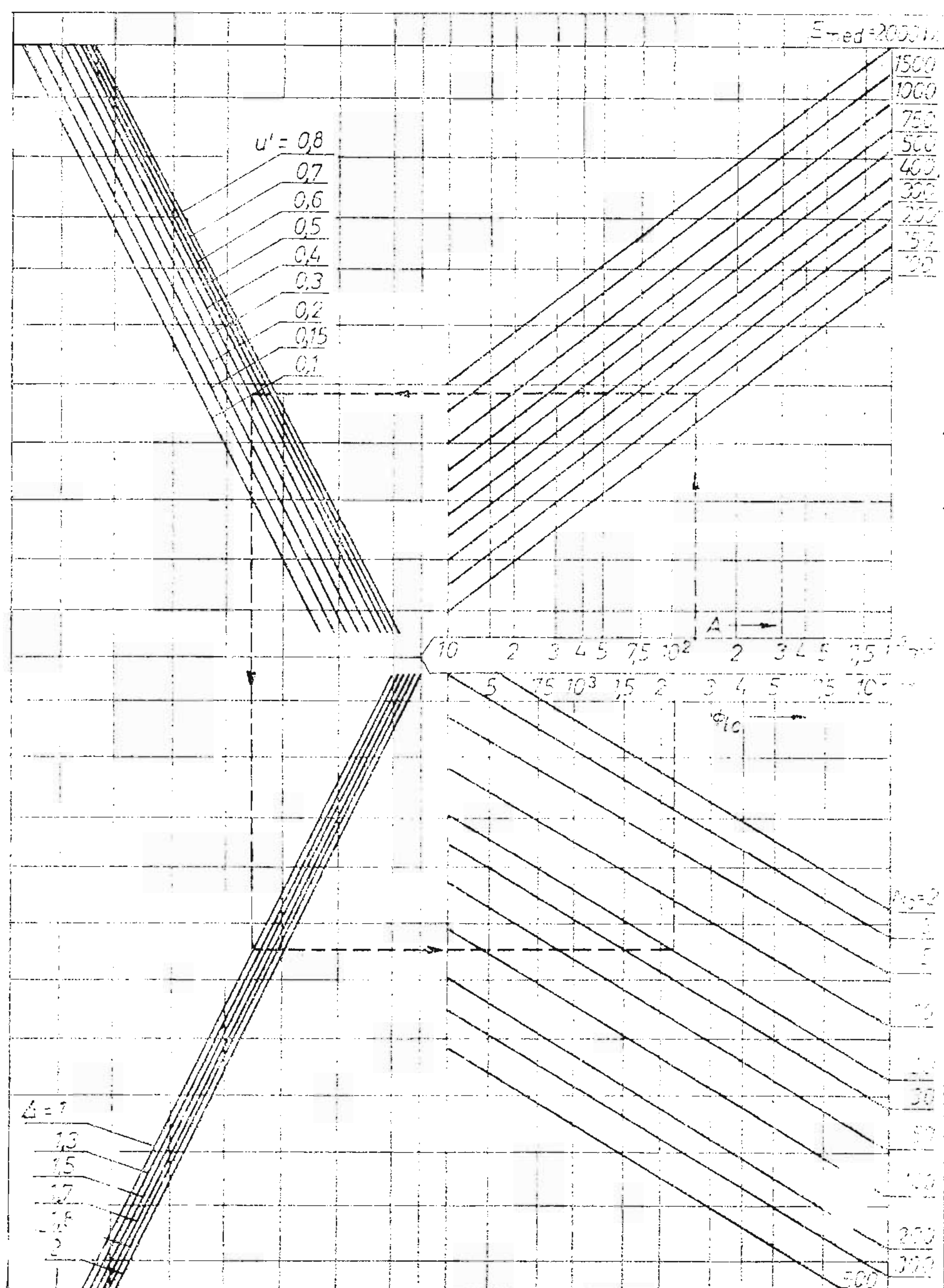


Fig. 5.22. Nomogramă pentru calculul fluxului luminos al lămpilor dintr-un corp pe baza metodei factorului de utilizare.

5.7.6. DEFINITIVAREA TIPULUI DE SURSĂ DE LUMINĂ ŞI DE CORP DE ILUMINAT

În cadrul paragrafului 5.7.2. s-a propus o alegere de principiu a sursei de lumină şi a corpului de iluminat.

În continuare, cunoscînd fluxurile nominale Φ'_l ale lămpilor (tab. 5.1, 5.3 şi 5.4), numărul de lămpi N_{lc} care se pot monta în corpurile de iluminat (tab. 5.11 şi 5.12) şi fluxul minim necesar Φ_{lc} pentru lămpile din corp (rel. 5.48 sau nomograma din fig. 5.22), se poate trece la definitivarea tipului de sursă de lumină şi de corp de iluminat.

Dintre combinaţiile posibile, se alege acel produs

$$\Phi'_{lc} = \Phi'_l \cdot N_{lc}, \qquad (5.49)$$

care dă o valoare mai mare, dar cît mai apropiată de Φ_{lc}

$$\Phi'_{lc} \geqslant \Phi_{lc}. \qquad (5.50)$$

În cazul tuburilor fluorescente se vor lua în considerare numai acele tipuri, a căror temperatură de culoare se încadrează între limitele admise de diagrama de confort vizual a lui Kruithof (fig. 5.17).

Dacă raportul

$$\frac{\Phi'_{lc}}{\Phi_{lc}} > 1{,}2 \ldots 1{,}5, \qquad (5.51)$$

se recomandă mărirea numărului de corpuri N_c, păstrînd simetria de amplasare (se introduce un şir în plus sau un corp în plus pe fiecare şir) şi reluarea calculelor din acest punct, pînă cînd diferenţa $(\Phi'_{lc} - \Phi_{lc})$ se reduce suficient.

De remarcat că, prin acest procedeu, tipul corpului şi tipul lămpii se definitivează simultan.

5.7.7. CARACTERISTICILE INSTALAŢIEI DE ILUMINAT NORMAL

a) Iluminarea medie în serviciu se calculează cu relaţia

$$E_{med} = \frac{\Phi'_l N_{lc} N_c u'}{A \Delta}, \qquad (5.52)$$

care trebuie să fie mai mare decît iluminarea medie minimă admisibilă

$$E_{med} \geqslant E_{adm}, \qquad (5.53)$$

dar mai mică decît treapta următoare $E_{med\,M}$ din scara iluminărilor

$$E_{med} < E_{med\,M}. \qquad (5.54)$$

Scara nivelelor de iluminare, prevăzută prin STAS 6646-66 şi [66] este următoarea: 0,3; 0,5; 1; 2; 3; 5; 10; 20; 30; 50; 75; 100; 150; 200; 250; 300; 350; 400; 500; 750; 1 000; 1 500; 2 000; 3 000; 4 000; 5 000 lx.

Dacă alegerea definitivă a sursei de lumină și a corpului de iluminat se face respectînd relația (5.50), relația (5.53) se verifică cu certitudine. În schimb, dacă condiția (5.54) nu este îndeplinită, se trece la mărirea numărului de corpuri N_c, conform indicației de la paragraful 5.7.6.

b) Uniformitatea iluminării poate fi considerată, în general îndeplinită, dacă s-au respectat condițiile de amplasare în plan ale corpurilor. În cazul unor instalații mai exigente, se va face verificarea uniformității iluminării prin metoda punct cu punct (v. par. 5.7.8).

c) Compoziția spectrală a luminii este asigurată datorită respectării corelației dintre nivelul de iluminare și temperatura de culoare, conform diagramei Kruithof.

Pentru verificarea nivelului luminanțelor și a contrastelor de luminanță se recomandă consultarea lucrării [16].

Calculul fotometric al instalațiilor de iluminat de siguranță se poate face în același mod cu al instalației de iluminat normal.

5.7.8. METODA PUNCT CU PUNCT PENTRU CALCULUL ILUMINĂRILOR DIRECTE

Componenta directă a iluminării este produsă de acea parte a fluxului luminos a corpurilor de iluminat, care ajunge în mod nemijlocit pe suprafața iluminată, fără să sufere nici o reflexie.

Cunoașterea distribuției componentei directe a iluminării pe planul de lucru are o importanță strîns legată de tipul instalației de iluminat:

— pentru instalațiile de iluminat interior-general, permite verificarea uniformității iluminării;

— pentru instalațiile de iluminat local constituie o metodă de proiectare;

— pentru instalațiile de iluminat exterior reprezintă o bază de proiectare; în acest caz, valorile determinate ale iluminărilor reprezintă chiar iluminările totale, componenta reflectată fiind nulă sau neglijabilă.

La baza metodei de calcul stă relația (5.14).

Iluminarea directă-totală într-un punct se determină ca sumă a iluminărilor parțiale, create de fiecare corp de iluminat, din compunerea instalației.

Metoda punct cu punct de calcul a iluminării directe presupune cunoașterea corpului fotometric sau a curbelor fotometrice ale corpurilor de iluminat.

Particularizarea relației de calcul (5.14) se face în funcție de dimensiunile relative ale corpurilor de iluminat: punctiforme, liniare și panouri luminoase.

A. Calculul iluminărilor directe date de o sursă punctiformă

Se consideră o sursă de lumină S și un punct P, a căror poziție relativă este determinată în cadrul unui sistem de axe rectangulare $Oxyz$, așa cum se indică în figura 5.23).

În baza relației (5.10), iluminarea produsă de sursa S în punctul P, în plan orizontal este

$$E_{Ph} = \frac{d\Phi}{dA_h}, \qquad (5.55)$$

iar în plan vertical

$$E_{Pv} = \frac{d\Phi}{dA_v}, \qquad (5.56)$$

dA_h și dA_v fiind elementele de arie în plan orizontal, respectiv vertical.

Deoarece elementul de arie dA din relația (5.13) poate fi considerat ca proiecție a elementului dA_h sau dA_v, există relația

$$dA = dA_h \cos\theta = dA_v \sin\theta \qquad (5.57)$$

și cum intensitatea luminoasă $I(\theta, \varphi)$ a sursei S în direcția punctului P depinde de unghiurile de înălțime θ și azimut φ, se obțin relațiile pentru iluminările în plan orizontal

$$E_{Ph} = \frac{I(\theta, \varphi)\cos\theta}{r^2} \qquad (5.58)$$

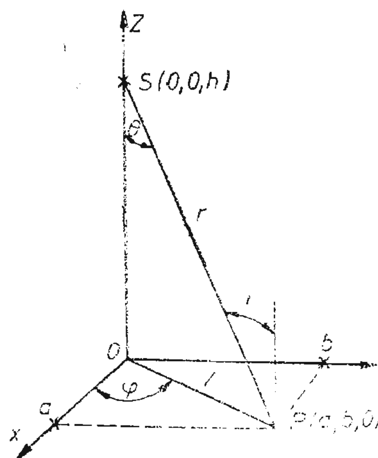


Fig. 5.23. Explicativă pentru calculul iluminărilor directe date de o sursă punctiformă în plan orizontal și vertical.

și în plan vertical

$$E_{Pv} = \frac{I(\theta, \varphi)\sin\theta}{r^2}, \qquad (5.59)$$

similare cu relația (5.14).

Pentru a reduce numărul elementelor variabile din expresiile de mai sus se substituie

$$r = \frac{h}{\cos\theta}, \qquad (5.60)$$

astfel încît relațiile (5.58) și (5.59) devin

$$E_{Ph} = \frac{I(\theta, \varphi)\cos^3\theta}{h^2}; \qquad (5.61)$$

$$E_{Pv} = \frac{I(\theta, \varphi)\cos^2\theta\sin\theta}{h^2}. \qquad (5.62)$$

Unghiurile de înălțime și de azimut se pot determina cu ajutorul coordonatelor carteziene (v. fig. 5.23):

$$\theta = \operatorname{arctg}\frac{l}{h}; \qquad (5.63)$$

$$\varphi = \operatorname{arctg}\frac{b}{a}, \qquad (5.64)$$

cu $l = \sqrt{a^2 + b^2}$, astfel încît din corpul fotometric se poate obține $I(\theta, \varphi)$.

Funcțiile trigonometrice din expresiile (5.61) și (5.62) ale iluminărilor se determină în funcție de coordonate cu relațiile

$$\cos\theta = \frac{h}{\sqrt{h^2 + l^2}};$$
$$\sin\theta = \frac{l}{\sqrt{h^2 + l^2}}, \tag{5.65}$$

iar prin înlocuirea lor rezultă:

$$E_{Ph} = \frac{I(\theta, \varphi)h}{(h^2 + l^2)^{\frac{3}{2}}}; \tag{5.66}$$

$$E_{Pv} = \frac{I(\theta, \varphi)l}{(h^2 + l^2)^{\frac{3}{2}}}, \tag{5.67}$$

deci iluminările în plan orizontal și vertical sînt direct proporționale cu distanțele corpului de iluminat la planele respective:

$$\frac{E_{Ph}}{E_{Pv}} = \frac{h}{l}. \tag{5.68}$$

Adoptînd ca variabilă raportul l/h, relațiile (5.66) și (5.67) se transformă în

$$E_{Ph} = \frac{I(\theta, \varphi)}{h^2} \frac{1}{[1 + (l/h)^2]^{\frac{3}{2}}}; \tag{5.69}$$

$$E_{Pv} = \frac{I(\theta, \varphi)}{h^2} \frac{l/h}{[1 + (l/h)^2]^{\frac{3}{2}}}. \tag{5.70}$$

Iluminările calculate cu aceste relații sînt iluminările inițiale. Pentru a obține iluminările în serviciu, se împart valorile iluminărilor obținute la factorul de depreciere

$$E'_{Ph,v} = \frac{E_{Ph,v}}{\Delta}. \tag{5.71}$$

Din examinarea relațiilor (5.66), (5.67) sau (5.69), (5.70) și avînd în vedere expresiile (5.63), (5.64), se poate trage concluzia că pentru o anumită înălțime de suspendare h deasupra planului util, iluminările inițiale sînt funcție numai de distanța orizontală l — la corpurile de iluminat simetrice și de l și φ — la corpurile de iluminat nesimetrice:

$E_{Ph,v}(l)$ — la corpuri de iluminat simetrice;
$E_{Ph,v}(l, \varphi)$ — la corpuri de iluminat nesimetrice.

În cazul corpurilor de iluminat simetrice iluminările pot fi reprezentate într-o diagramă în funcție de distanța l — $E_{Ph,v}(l)$, folosind la nevoie înălțimea h ca parametru. Curbele obținute au forma unei jumătăți de curbă clopot. În figura 5.24 sînt date trei astfel de curbe pentru un corp de iluminat simetric, montat la diferite înălțimi h și avînd curba fotometrică reprezentată alăturat.

Reprezentarea iluminărilor produse de corpuri nesimetrice, în funcție de distanța l și unghiul de azimut φ, $E_{Ph,v}(l, \varphi)$ se poate face sub forma unei suprafețe curbe. Fiecărei înălțimi de suspendare h îi corespunde cîte o asemenea suprafață în axele de coordonate (l, φ, E). În cazul unui corp de iluminat simetric, suprafața $E_{\varphi}(l, \varphi)$ are forma unui clopot, aceasta putînd fi obținută prin rotirea uneia din curbele reprezentate în figura 5.24, în jurul axei ordonatelor.

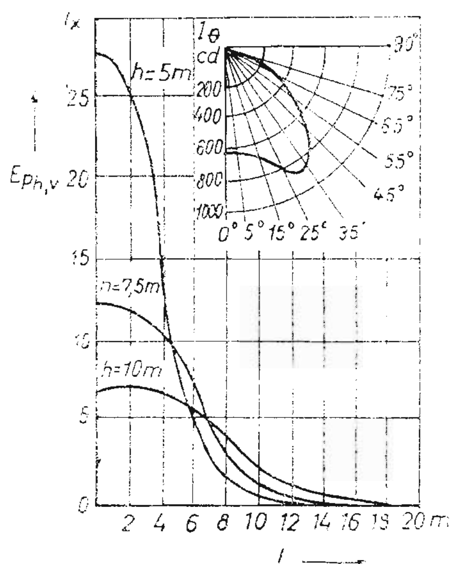


Fig. 5.24. Diagrama iluminărilor în funcție de distanță pentru un corp de iluminat simetric.

Dacă se intersectează suprafața iluminărilor $E(l, \varphi)$ cu plane orizontale E = const., corespunzînd unor diferite valori ale iluminărilor, se obțin curbele de egală iluminare numite și *curbe izolux*. Curbele izolux, reprezentate în figura 5.25, sînt cercuri concentrice în cazul corpurilor de iluminat simetrice (fig. 5.25, *a*) și curbe închise oarecari, în cazul corpurilor de iluminat nesimetrice (fig. 5.25, *b*).

Pentru simplificarea calculelor necesare trasării curbelor izolux se utilizează reprezentări ale iluminărilor relative. Iluminarea relativă ε este iluminarea inițială pentru o înălțime de suspendare $h = 1$ m. Astfel:

$$\varepsilon_{h} = I(\theta, \varphi) \cos^3\theta = \frac{I(\theta, \varphi)}{[1 + (l/h)^2]^{\frac{3}{2}}}; \tag{5.72}$$

$$\varepsilon_{v} = I(\theta, \varphi) \cos^2\theta \sin\theta = I(\theta, \varphi) \frac{(l/h)}{[1 + (l/h)^2]^{\frac{3}{2}}}. \tag{5.73}$$

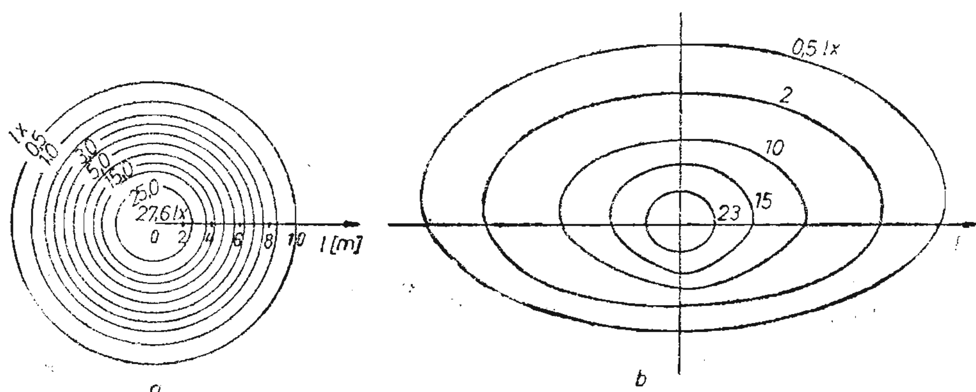


Fig. 5.25. Curbe izolux pentru surse punctiforme:
a — corp de iluminat simetric; *b* — corp de iluminat nesimetric.

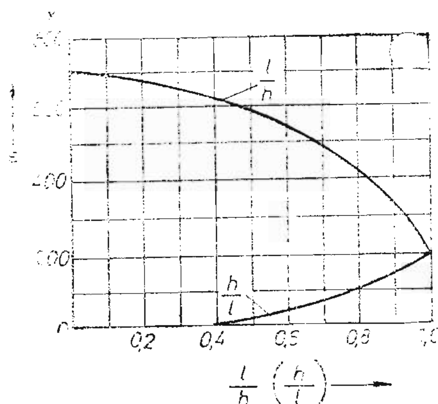


Fig. 5.26. Curbele izolux relative pentru un corp de iluminat nesimetric echipat cu lampa convențională de 1 000 lm.

Gradul de generalitate al acestor curbe este mărit prin construirea acestora pentru lămpi convenționale cu $\Phi_l = 1\,000$ lm și prin utilizarea coordonatelor relative

$$a_* = \frac{a}{h}\,;\ b_* = \frac{b}{h}\,;$$
$$l_* = \frac{l}{h} = \sqrt{a_*^2 + b_*^2}. \tag{5.74}$$

Legătura dintre coordonatele relative și unghiurile de înălțime, respectiv de azimut este

$$\operatorname{tg}\theta = l_*\,;\ \operatorname{tg}\varphi = \frac{b_*}{a_*}. \tag{5.75}$$

În cazul general al corpurilor de iluminat nesimetrice se utilizează curbele de egală iluminare relativă. Una din curbele de egală iluminare relativă se obține prin unirea punctelor din plan care au aceeași iluminare relativă inițială, fapt pentru care se numesc și *curbe izolux relative*. Reprezentarea curbelor izolux relative se poate face în:

— coordonate rectangulare $\varepsilon(a_*,\ b_*)$;

— coordonate polare $\varepsilon(l_*,\ \varphi)$.

În figura 5.26 sînt reprezentate, în coordonate polare, curbele izolux relative pentru un corp de iluminat nesimetric, cu repartiție largă, echipat cu lampa convențională de 1 000 lm. Corpul de iluminat are două planuri de simetrie, astfel încît reprezentarea se poate reduce la un singur cadran, corespunzător valorilor unghiului de azimut $\varphi = 0 \ldots 90°$.

Calculul iluminării într-un anumit punct cu ajutorul acestor curbe se face astfel:

— după poziția punctului P în care se calculează iluminarea, se determină distanțele a și b și se calculează coordonatele relative

$$a_* = \frac{a}{h}, \quad b_* = \frac{b}{h}\,; \tag{5.76}$$

— se determină coordonatele polare relative

$$l_* = \sqrt{a_*^2 + b_*^2}\,; \quad \varphi = \operatorname{arctg}\frac{b_*}{a_*}\,; \tag{5.77}$$

— se determină din diagrama curbelor izolux relative, iluminarea relativă $\varepsilon(l_*, \varphi)$ corespunzătoare coordonatelor l_* și φ;

— curbele fiind construite pentru lampa convențională cu $\Phi_l = 1\,000$ lm, iluminarea inițială căutată este

$$E_P' = \frac{\varepsilon_P}{h^2}\,\frac{\Phi_l'}{1\,000}, \tag{5.78}$$

Φ_l' fiind fluxul total al lămpilor montate într-un corp de iluminat.

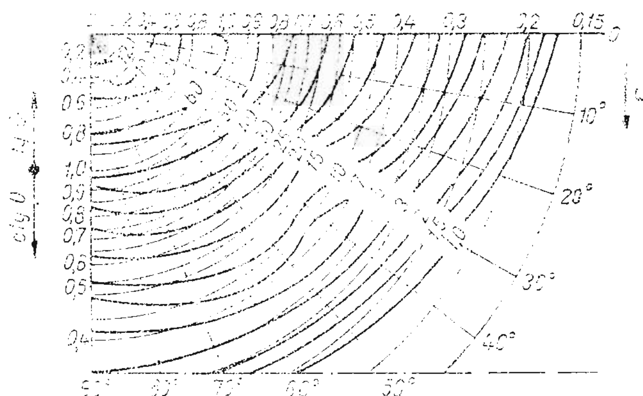


Fig. 5.27. Curba iluminărilor relative pentru un corp de iluminat simetric.

Pentru corpurile de iluminat simetrice este suficientă curba iluminărilor relative $\varepsilon(l_*)$, reprezentată pentru un anumit corp de iluminat în figura 5.27

Iluminarea directă totală într-un punct, dată de ansamblul corpurilor dintr-o încăpere, se calculează ca sumă a iluminărilor directe parțiale, date de fiecare corp în parte

$$E_P = \sum_{i=1}^{N_c} E_{Pi}. \tag{5.79}$$

Iluminarea medie E_{med} pe planul de lucru se determină ca medie aritmetică a iluminărilor din centrele unor dreptunghiuri mici, în care se împarte suprafața acestuia.

Pe baza valorilor calculate se pot determina factorii de uniformitate E_m/E_M și E_m/E_{med}, care se compară cu valorile minime admisibile din tabelul 5.19.

Deoarece verificarea uniformității iluminării necesită calcule laborioase, chiar dacă se dispune de curbele iluminărilor sau izolux relative, se recomandă lucrul la calculatoare electronice.

În figura 5.28 este prezentată schema logică de calcul a iluminărilor directe date de un sistem de iluminat cu surse punctiforme simetrice, a căror curbă fotometrică se cunoaște. În afara programului principal (fig. 5.28, *a*), se indică subprogramul de interpolare (fig. 5.28, *b*) și schița explicativă cu notațiile folosite în schema logică (fig. 5.28, *c*).

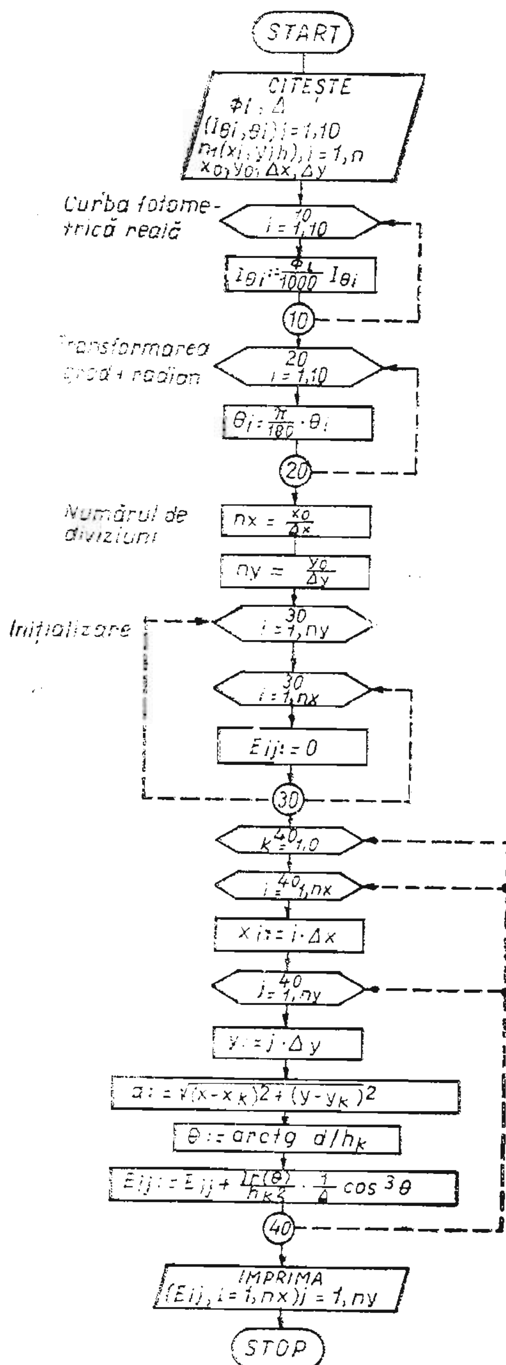
B. Calculul iluminărilor directe date de surse liniare

Se consideră șirul de corpuri de iluminat cu tuburi fluorescente, din figura 5.29, avînd lungimea corpului L_c și distanța dintre două corpuri d_1; lungimea șirului de corpuri este L.

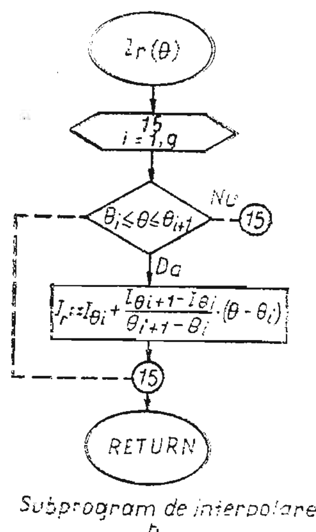
Dacă

$$d_{1*} = \frac{d_1}{h} \leqslant 0{,}7, \tag{5.80}$$

șirul poate fi considerat continuu și L reprezintă lungimea sursei liniare de lumină. În caz contrar, șirul este discontinuu și iluminarea totală trebuie

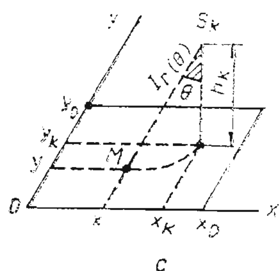


a



Subprogram de interpolare

b



c

NOTAȚII

Φ_l = fluxul lămpii

Δ = factor de depreciere

$(I_{\theta i}, \theta_i^{o})$ = curbă fotometrică universală

n = numărul de lămpi

(x_i, y_i, h_i) = coordonatele spațiale ale lămpilor

(x_0, y_0) = dimensiunile suprafeței utile

$(\Delta x, \Delta y)$ = pasul nodurilor

Fig. 5.28. Calculul iluminărilor directe date de un sistem de iluminat cu corpuri punctiforme simetrice, prin metoda punct cu punct:

a — schema logică a programului principal; *b* — schema logică a subprogramului de interpolare; *c* — schiță explicativă.

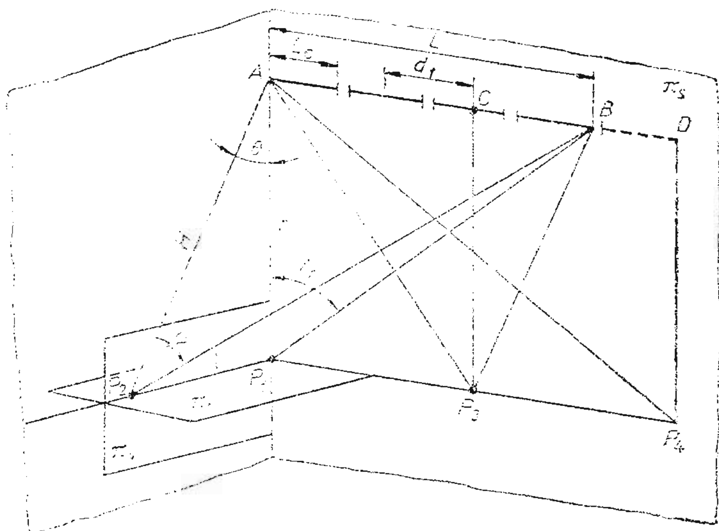


Fig. 5.29. Explicativă pentru calculul iluminărilor date de o sursă liniară.

calculată ca sumă a iluminărilor parțiale, produse de fiecare corp de iluminat în parte.

Mărimea de calcul specifică este intensitatea luminoasă pe direcția normală, a unității de lungime a sursei liniare [3]

$$I_u = \frac{\Phi_0}{\pi^2 L}, \text{ cd/m}, \tag{5.81}$$

în care Φ_0 reprezintă fluxul luminos total emis de corpurile de iluminat, care formează sursa liniară de lumină cu lungimea L.

Iluminările orizontală și verticală au următoarele expresii:

— în punctul P_1 (proiecția capătului A al sursei liniare pe planul orizontal π_h, fig. 5.29),

$$E_{P_1h} = \frac{I_v}{2h}(\sin i_1 \cos i_1 + i_1); \tag{5.82}$$

$$E_{P_1v} = \frac{I_v}{2h}\sin^2 i_1; \tag{5.83}$$

— în punctul P_2, situat pe dreapta $(\pi_h \cap \pi_v)$, în afara planului π_s, la distanța l de acesta

$$E_{P_2h} = E_{P_2H}\cos\theta = \frac{I_v}{2H}(\sin i_2 \cos i_2 + i_2)\cos\theta; \tag{5.84}$$

$$E_{P_2v} = \frac{I_u}{2H}\sin^2 i_2, \tag{5.85}$$

în care E_{P_2H} este iluminarea în punctul P_2, într-un plan perpendicular pe direcția AP_2, calculată cu relația pentru E_{P_1h}, în care h se înlocuiește cu $H = \sqrt{h^2 + l^2}$;

— în punctul P_3, aflat în planul vertical π_s, care trece prin sursa liniară, sub această sursă

$$E_{P_3} = E_{AC} + E_{CB}, \tag{5.86}$$

în care E_{AC}, E_{CB} sînt calculate cu relațiile de la E_{P_1};

— în punctul P_4 situat în planul vertical π_s, în afara sursei liniare

$$E_{P_4} = E_{AD} - E_{BD}, \tag{5.87}$$

BD fiind o porțiune fictivă a sursei liniare.

Relațiile pot fi exprimate numai în funcție de distanțe, dacă se explicitează funcțiile trigonometrice din expresia lor:

$$\sin i_1 = \frac{L}{\sqrt{h^2 + L^2}}; \quad \cos i_1 = \frac{h}{\sqrt{h^2 + L^2}}; \tag{5.88}$$

$$\sin i_2 = \frac{L}{\sqrt{H^2 + L^2}}; \quad \cos i_2 = \frac{H}{\sqrt{H^2 + L^2}};$$

$$\cos \theta = \frac{h}{H},$$

în care $H = \sqrt{h^2 + l^2}$.

5.7.9. ÎNTOCMIREA SCHEMEI DE DISTRIBUȚIE

Organizarea pe circuite monofazate sau trifazate a alimentării cu energie electrică a corpurilor de iluminat se face avînd în vedere, pe de o parte, funcționalitatea instalației de iluminat general, iar pe de altă parte restricțiile introduse prin normativ [32].

Astfel, se va prevedea acționarea iluminatului general, respectiv aprinderea și stingerea acestuia, pe porțiuni ale încăperii, în scopul creerii posibilității de iluminare numai a anumitor zone, în care la un moment dat se lucrează efectiv.

La folosirea iluminatului artificial combinat cu iluminatul natural, secționarea comenzilor iluminatului general se va prevedea astfel ca aprinderea-stingerea să se facă paralel cu peretele ferestrelor [28].

După realizarea partiționării iluminatului general, conform indicațiilor de mai sus, se grupează corpurile de iluminat pe circuite, respectînd următoarele restricții:

— la circuitele monofazate nu se va depăși o putere instalată maximă de 3 kW;

— la circuitele trifazate nu se va depăși o putere instalată maximă de 8 kW;

— numărul maxim de corpuri de iluminat racordate la o fază este de 30, în cazul instalațiilor de iluminat industriale;

— în clădirile de locuit, un circuit de lumină nu va depăși puterea instalată de 1 kW și va fi încărcat cu maximum 12 corpuri de iluminat, excepție făcînd circuitele de lumină de la spațiile comune (ex. holuri, scări etc.) la care se admit 15 corpuri de iluminat pe circuit;

— prevederea protecției se va face în baza condițiilor de la subcapitolul 4.8.

Legarea corpurilor de iluminat la circuitul de alimentare se face prin intermediul unor cleme de legătură (la corpuri de iluminat fixe). Un corp de iluminat se racordează la o singură fază, chiar dacă este prevăzut cu mai multe lămpi. Se recomandă alimentarea corpurilor de iluminat cu lămpi fluorescente, amplasate în vecinătate, de la faze diferite, pentru diminuarea efectului stroboscopic.

Corpurile de iluminat cu lămpi cu descărcări se vor monta cu condensatoare pentru îmbunătățirea factorului de putere.

Racordarea circuitelor de lumină la rețeaua de joasă tensiune se face în baza celor menționate la subcapitolul 4.2 și a prevederilor din lucrarea [32].

Alegerea aparatelor de protecție și comutație, precum și a secțiunii conductoarelor se poate face conform relațiilor și indicațiilor de la subcapitolul 4.10, respectiv 4.11. Una dintre verificările obligatorii la instalațiile electrice de iluminat este aceea a pierderilor de tensiune (v. subcap. 4.12).

Bateriile de alimentare a iluminatului de siguranță pentru continuarea lucrului vor fi astfel dimensionate [32] încît să asigure funcționarea continuă a tuturor lămpilor după cum urmează:

— cel puțin 3 ore, pentru locurile în care sînt montate armături (vane, robinete) și dispozitive de comandă și control ale unor instalații și utilaje care trebuie acționate în caz de incendiu (ca și în încăperile blocului operator al clinicilor și spitalelor);

— pentru timpul necesar punerii în funcțiune a unei alte surse de alimentare sau repunerii în funcțiune a alimentării normale, dacă activitatea nu poate fi întreruptă;

— în tot timpul necesar efectuării manevrelor în vederea opririi lucrului în caz de avarie, evacuarea personalului și luarea măsurilor de prevenire și combatere a incendiului, pentru celelalte cazuri de prevedere a iluminatului de siguranță pentru continuarea lucrului (v. tab. 5.15).

5.8. INSTALAȚII DE ILUMINAT EXTERIOR

5.8.1. GENERALITĂȚI

În anumite cazuri, activitățile desfășurate în exterior în timpul zilei se continuă și în timpul nopții, astfel încît apare necesitatea iluminării spațiilor respective. Dintre activitățile industriale care se încadrează în această situație se pot menționa:

— lucrările industriale exterioare;

— lucrările la instalații electrice exterioare ca stații și posturi de transformare;

— lucrul pe șantiere;

— utilajele industriale în aer liber;

— circulația din incintele întreprinderilor industriale.

Instalațiile de iluminat exterior trebuie să asigure nivelul minim de vizibilitate, evitîndu-se contrastele de luminanță. Nivelul de iluminare relativ redus pentru activitățile din exterior (v. tab. 5.17 și 5.18), face ca

ochiul să fie adaptat la străluciri reduse, astfel încît acesta este foarte susceptibil la fenomenul de orbire, dacă în cîmpul vizual apar obiecte cu luminanțe prea mari. De asemenea, contrastele prea mari de luminanțe accelerează oboseala ochiului.

Condițiile de calitate ale iluminatului exterior sînt tratate în subcapitolul 5.6. Coeficientul de uniformitate E_m/E_{med} este de 1/3 pentru lucrările industriale exterioare (v. tab. 5.17) și de 1/4 la iluminatul teritoriilor și căilor de circulație.

5.8.2. PROIECTAREA INSTALAȚIILOR DE ILUMINAT EXTERIOR

Calculul instalațiilor de iluminat exterior cuprinde aceleași etape ca și în cazul instalațiilor de iluminat interior, în cele ce urmează fiind prezentate elementele caracteristice.

Sistemul de iluminat este local direct în majoritatea cazurilor, din cauza lipsei suprafețelor înconjurătoare care să contribuie, prin reflexie, la iluminarea planului util.

Sursele de lumină recomandate pentru iluminatul exterior sînt lămpile cu mare eficacitate luminoasă, ca cele fluorescente sau cu descărcări, iar în cazul iluminatului cu proiectoare — lămpile cu incandescență. În cazul unor nivele de iluminare reduse, se recurge de asemenea la folosirea lămpilor cu incandescență (v. tab. 5.22). Pentru spații cu mult fum, cu ceață densă și frecventă, se recomandă utilizarea lămpilor cu vapori de sodiu, iar pentru spații mari deschise se vor folosi lămpi de mare putere — lămpi cu xenon sau lămpi cu halogenuri metalice, care realizează economii prin concentrarea fluxului într-un număr mic de surse.

Corpurile de iluminat se aleg dintre cele destinate iluminatului exterior (v. tab. 5.11 și 5.12), ținînd cont de felul sursei de lumină și de indicațiile din tabelul 5.23.

Tabelul 5.23

Indicații de alegere a corpurilor de iluminat pentru iluminatul industrial exterior

Spațiul de iluminat	Repartiția fluxului la corpul de iluminat	
	Mijlocie	Largă
Căi de circulație în incinte. Pasaje, treceri, podețe de scări. Pasaje de nivel la căi ferate.	Recomandat	Permis
Intrări pentru vehicole (porți). Iluminatul de pază pe teritoriu. Iluminatul periferic de pază, pe o fișie de 10 m lățime.	Permis	Recomandat

În cazul unor spații de lucru, în care se degajă gaze sau vapori corosivi, trebuie folosite corpuri de iluminat corespunzătoare.

Amplasarea corpurilor de iluminat exterior se face pe pereții clădirilor învecinate sau cu ajutorul unor stîlpi de susținere.

Iluminatul incintelor industriale, a depozitelor ş.a. se execută prin amplasarea corpurilor de iluminat sau a proiectoarelor pe clădirile învecinate sau pe stîlpi distribuiţi pe suprafaţa de iluminat, în cazul în care prezenţa lor nu împiedică activitatea respectivă sau circulaţia vehicolelor. Amplasarea concentrată a proiectoarelor, în cîteva puncte, prezintă avantaje în exploatare, permiţînd o întreţinere mai uşoară.

Pentru iluminatul staţiilor şi posturilor de transformare exterioare, se pot folosi proiectoare instalate în colţurile terenului.

Căile de acces şi drumurile uzinale sînt iluminate prin amplasarea corpurilor de iluminat de-a lungul acestora, axial, unilateral sau bilateral (alternat sau faţă în faţă), putîndu-se folosi stîlpi sau pereţi ai clădirilor învecinate.

Iluminatul triajelor şi al instalaţiilor portuare se execută de cele mai multe ori cu ajutorul unor baterii de proiectoare montate pe piloni şi orientate în toate direcţiile. Un iluminat suplimentar se realizează cu ajutorul unor corpuri de iluminat exterior distribuite pe întreaga suprafaţă, mai ales în zonele unde local sînt necesare niveluri superioare de iluminat.

Cotele de amplasare a corpurilor de iluminat trebuie corelate cu caracteristicile fotometrice ale surselor, corelaţii care conduc la soluţii optime din punct de vedere tehnic şi economic. [28].

Înălţimile minime de montare a corpurilor de iluminat în funcţie de fluxul luminos al surselor şi de felul repartiţiei fluxului luminos, sînt indicate în tabelul 5.24; aceste valori asigură obţinerea uniformităţilor normate şi limitarea fenomenelor de orbire. De asemenea, în cazul iluminării unor spaţii cu utilaje, sau corpuri de mari dimensiuni, înălţimea de montare se stabileşte astfel încît să se micşoreze cît mai mult posibil umbrele produse de acestea.

Tabelul 5.24

Înălţimi minime de montare a corpurilor de iluminat exterior

Fluxul luminos al sursei [lm]	Repartiţia fluxului luminos a corpului de iluminat		
	Concentrată	Mijlocie	Largă
sub 5 000	6	6	7,5
5 000 ... 10 000	6	7,5	8
10 000 ... 15 000	7,5	9	10,5
peste 15 000	9	10,5	12

Pentru căile de acces şi drumurile uzinale, înălţimea de montare a corpurilor de iluminat se recomandă a se adopta cel puţin egală cu lăţimea căii, în cazul iluminatului unilateral şi cu jumătatea lăţimii căii în cazul celui axial sau bilateral; se va avea în vedere şi gabaritul maxim al mijloacelor de transport.

Distanţa d dintre punctele de suspendare ale corpurilor de iluminat, măsurată în plan orizontal se alege în funcţie de înălţimea de suspendare h cu relaţia

$$d = (3 \ldots 5)h, \tag{5.89}$$

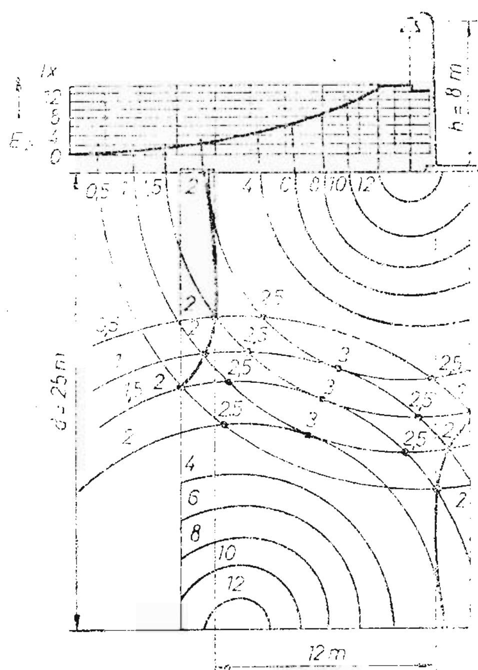


Fig. 5.30. Curbele izolux cumulative pentru o cale de circulație cu corpuri de iluminat simetrice amplasate bilateral alternativ.

care asigură uniformitatea iluminării în limitele normate. În cadrul limitelor introduse de relația (5.89), alegerea distanței d se face în funcție de felul repartiției fluxului la corpurile de iluminat:

— $d = 3h$ pentru corpurile cu repartiție concentrată;

— $d = 3{,}5h$ pentru corpuri cu repartiție mijlocie;

— $d = 4h$ pentru corpuri cu repartiție largă.

La iluminatul căilor de circulație, distanța dintre stîlpi se alege astfel încît la unghiul vertical maxim de distribuție a intensității luminoase să se acopere cel puțin jumătate din distanța dintre stîlpi.

Nivelul de iluminare se stabilește pe baza tabelelor 5.17 și 5.18. Factorul de depreciere se consideră $\Delta = 1{,}25$.

Calculul iluminatului exterior se face prin metoda punct cu punct, ținînd seama de curbele fotometrice ale corpurilor de iluminat utilizate (v. par. 5.7.8).

Prin unirea punctelor de egală iluminare de pe planul util, se obțin curbele izolux cumulative ale instalației. În figura 5.30 sînt prezentate curbele izolux cumulative pentru o cale de circulație cu corpuri de iluminat simetrice amplasate bilateral alternativ (zig-zag).

În final se determină caracteristicile instalației de iluminat exterior: iluminarea medie, iluminarea minimă și coeficienții de uniformitate. Dacă valorile obținute nu corespund celor normate sau nu se încadrează în domeniile admise, se reconsideră alegerea puterii surselor de lumină sau amplasarea corpurilor de iluminat.

Capitolul 6
INSTALAȚII PENTRU COMPENSAREA PUTERII REACTIVE

6.1. GENERALITĂȚI

Consumul de putere reactivă în cadrul sistemului energetic se datorește receptoarelor electrice, pierderilor în linii și transformatoare, fiind practic egal cu consumul de putere activă, la sarcina maximă. Centralele electrice sînt dimensionate pentru o producție de putere reactivă egală cu 50 ... ... 60% din cea activă, ceea ce conduce la necesitatea introducerii unor instalații pentru compensarea diferenței de putere reactivă. În plus apar și o serie de efecte negative care impietează asupra condițiilor de calitate în alimentarea consumatorilor.

Consumul de putere reactivă este caracterizat de *factorul de putere*, care în regim sinusoidal este dat de relația

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}, \tag{6.1}$$

în care: P este puterea activă, S — puterea aparentă și Q — puterea reactivă.

În instalațiile existente se utilizează noțiunea de *factor de putere mediu*, măsurat cu ajutorul contoarelor de energie activă E_{at} și reactivă E_{rt}, într-un anumit interval de timp (oră, zi, lună, an),

$$\cos\varphi_m = \frac{E}{\sqrt{E_{at}^2 + E_{rt}^2}}. \tag{6.2}$$

În proiectare se pornește de la *factorul de putere natural*, stabilit cu ajutorul puterilor cerute (par. 1.4), în absența surselor specializate de compensare a puterii reactive.

6.2. CAUZELE ȘI EFECTELE CONSUMULUI DE PUTERE REACTIVĂ

Receptoarele care consumă putere reactivă într-o întreprindere industrială sînt: motoarele asincrone, transformatoarele, cuptoarele cu inducție, cuptoarele cu arc, lămpile cu descărcări în gaze și vapori metalici, echipamentele electronice de putere, liniile electrice aeriene funcționînd în sarcină, mașinile sincrone subexcitate.

Consumul de putere reactivă al motoarelor asincrone se datorește factorului de putere nominal redus și funcționării la sarcini diferite de cele

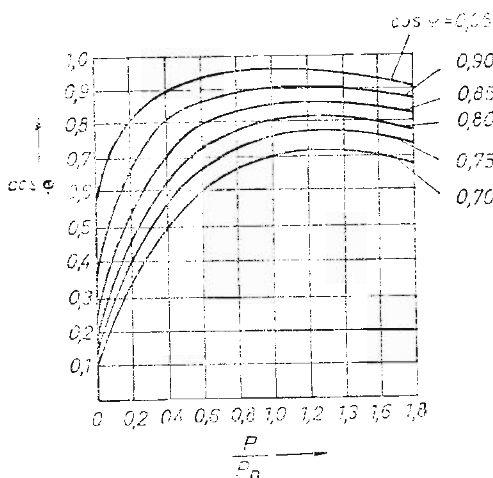


Fig. 6.1. Variația factorului de putere $\cos\varphi$ al motoarelor asincrone în funcție de coeficientul de încărcare $k_i = P/P_n$ și factorul de putere nominal $\cos\varphi_n$.

nominale, citeodată chiar în gol — figura 6.1.

Consumul de putere reactivă are efecte negative asupra întregului proces de producere, transport, distribuție și utilizare a energiei electrice prin:

— creșterea pierderilor de putere și energie activă, la producerea și transportul energiei electrice;

— creșterea pierderilor de tensiune la transport;

— reducerea posibilităților de încărcare cu putere activă a instalațiilor;

— necesitatea supradimensionării instalațiilor electrice însoțită de mărirea cheltuielilor de investiții;

— creșterea curentului permanent de scurtcircuit;

— valoarea ridicată a cheltuielilor anuale, prețul energiei reactive în cazul funcționării la un factor de putere mai redus decît cel neutral, fiind indicat în tabelul 6.1.

Valoarea minimă a factorului de putere, pe care trebuie să o realizeze consumatorul pentru a fi scutit de plata energiei reactive se numește factor de putere neutral.

Marii consumatori industriali și similari sînt obligați să asigure de regulă, o compensare pînă la cos φ neutral de minimum 0,92.

Excepție fac:

— consumatorii alimentați direct de la o centrală avînd putere reactivă disponibilă, pentru care se poate fixa un cos φ neutral sub 0,92 în limita puterii disponibile;

— consumatorii cu putere absorbită peste 20 MW situați în zone deficitare de putere reactivă, pentru care se poate adopta un cosφ neutral peste 0,92, dacă în centrul respectiv nu se dispune de o bară cu tensiune ⩽ 110 kV la care să se racordeze o sursă specializată de compensare.

Compensarea poate depăși valoarea de 0,92 dacă prin aceasta se realizează economii la investiții în rețelele proprii și dacă regimul local al tensiunilor permite acest lucru.

Valoarea factorului de putere optim se va stabili în paragraful 6.8.

Față de cele menționate, rezultă importanța consumului de putere reactivă pentru economia națională, reducerea sau chiar eliminarea efectelor negative favorizînd obținerea de economii atît la cheltuielile de investiții, cît și la cele de producție.

Tabelul 6.1

Prețuri de producție și livrare a energiei electrice — Decretul 392/1980

Consumatori de energie electrică pe nivele de tensiuni	Prețuri pentru energia electrică activă							Prețuri la energia electrică reactivă** pentru consumatorii cu factor de putere mediu lunar mai mic de 0,92
	A. Pentru mari consumatori care au instalate echipamente de măsurare corespunzătoare, cu excepția tracțiunii electrice				B. Pentru marii consumatori industriali și similari, la care nu se pot aplica prețurile „A" din lipsa echipamentelor de măsurare		C. Pentru restul consumatorilor inclusiv tracțiunea electrică și la oricare consumator pe durata nefuncționării echipamentului de măsurare	
	Pentru putere*		Pentru energie					
Tensiuni	lei/kW		lei/kWh		lei/kWh		lei/kWh	lei/kVarh
	Ore de vîrf	Restul orelor	Ore de vîrf	Restul orelor	Ore de vîrf	Restul orelor		
Joasă tensiune (0,1 – 1 kV inclusiv)	1 272	516	0,65	0,19	1,10	0,39	0,50	0,050
Medie tensiune (1 – 110 kV exclusiv)	792	321	0,50	0,18	0,75	0,28	0,31	0,035
Înaltă tensiune (110 kV și mai mari)	372	156	0,50	0,18	0,60	0,22	0,27	0,025

* În cazul echipamentelor cu un singur indicator de maxim, se aplică numai prețul pentru putere în orele de vîrf.

** În prețul energiei reactive se cuprinde și cota de consum tehnologic de energie activă în rețele, aferentă transportului energiei reactive.

6.3. MIJLOACE PENTRU COMPENSAREA CONSUMULUI DE PUTERE REACTIVĂ

La proiectarea instalațiilor tehnologice se va urmări compensarea consumului de putere reactivă caracterizată de ridicarea factorului de putere, prin:

— adoptarea în măsura posibilităților a unor procese tehnologice, agregate și scheme tehnologice și de funcționare, caracterizate prin factor de putere ridicat;

— alegerea judicioasă a tipului și puterii motoarelor electrice, a transformatoarelor, evitîndu-se supradimensionările; introducerea motorului sincron în locul celui asincron se va justifica din punct de vedere economic (par. 6.8.4) considerîndu-se motorul asincron compensat individual cu condensatoare derivație.

Principalele mijloace naturale utilizate în special în instalațiile existente, sînt următoarele:

— funcționarea transformatoarelor de forță în paralel, după graficul de pierderi reactive minime (par. 3.2.6), ori de cîte ori condițiile de exploatare permit acest lucru;

— exploatarea motoarelor sincrone la limita maximă a capacității de producere a puterii reactive;

— limitarea mersului în gol al motoarelor asincrone, al transformatoarelor de sudare și speciale, dacă procesul tehnologic permite acest lucru;

— utilizarea comutatoarelor stea-triunghi la motoare asincrone de joasă tensiune, încărcate sistematic sub 40% din sarcina nominală, pentru funcționarea de durată în conexiunea stea;

— înlocuirea motoarelor asincrone și a transformatoarelor supradimensionate, pe baza analizei tehnico-economice prin metoda cheltuielilor totale actualizate [38].

Principalele surse specializate de putere reactivă sînt condensatoarele derivație și compensatoarele sincrone.

6.4. ALEGEREA SURSELOR SPECIALIZATE DE PUTERE REACTIVĂ

În scopul ridicării factorului de putere natural $\cos\varphi_1$ pînă la valoarea cerută, după ce au fost epuizate toate mijloacele naturale, se va lua în considerare instalarea de surse specializate. Alegerea acestor surse impune parcurgerea următoarelor trei etape:

1) *Determinarea mărimii puterii reactive Q_c a sursei*

Puterea reactivă necesară pentru realizarea factorului de putere neutral $\cos\varphi_2$ rezultă pe baza relației (fig. 6.2):

$$Q_c = P_1(\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2) - \Delta P_c \operatorname{tg}\varphi_2 \qquad (6.3)$$

în care: P_1 este puterea activă a consumatorului necompensat (puterea cerută sau maximă absorbită în zilele de iarnă);

ΔP_c — pierderea de putere activă în sursa de compensare;

P_2, Q_2 — puterea activă, respectiv reactivă a consumatorului compensat la $\cos \varphi_2$.

O altă relație care permite stabilirea puterii reactive instalate este:

$$Q_c = \frac{E_{a1}(\text{tg}\,\varphi_1 - \text{tg}\,\varphi_2)}{t_{QM}}, \qquad (6.4)$$

în care: E_{a1} este energia activă a consumatorului necompensat, iar

t_{QM} — durata de utilizare a puterii reactive maxime (par. 6.8.2).

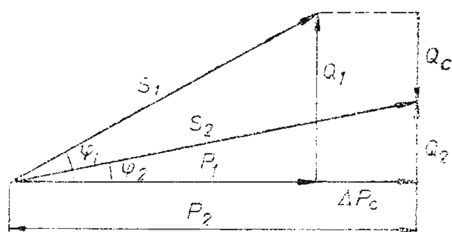


Fig. 6.2. Diagrama puterilor pentru determinarea puterilor reactive ale surselor specializate.

2) *Alegerea tipului sursei de compensare*

Condensatoarele derivație se utilizează, de regulă, ca sursa specializată de compensare a puterii reactive, fiind mai ieftine, avînd pierderi mai mici și condiții de exploatare mai ușoare decît compensatoarele sincrone.

Compensatoarele sincrone vor fi luate în considerație în următoarele situații:

— pentru compensarea puterilor ce depășesc 50 Mvar;

— dacă consumatorul are receptoare deformante și necesită compensarea unor puteri ce depășesc 10 ... 20 Mvar;

— pentru compensarea variațiilor rapide ale sarcinii reactive (la cuptoarele cu arc).

În toate aceste cazuri se va efectua o analiză tehnico-economică comparativă a soluțiilor cu condensatoare derivație și cu compensatoare sincrone.

3) *Stabilirea amplasamentului sursei de compensare*

În cadrul instalațiilor electrice ale consumatorului, condensatoarele derivație pot fi amplasate (fig. 6.3) pentru compensare:

— individuală, direct la bornele receptoarelor de JT sau MT avînd un consum mare de energie reactivă și funcționare continuă; este recomandată și pentru compensarea fiecărui corp de iluminat cu lămpi fluorescente;

— centralizată, pe JT, la tablourile generale din posturile de transformare sau la tablourile care deservesc grupe importante de receptoare inductive și pe MT în posturile sau stațiile de transformare.

Compensatoarele sincrone se amplasează aproape întotdeauna în stațiile sistemului energetic, la barele de MT.

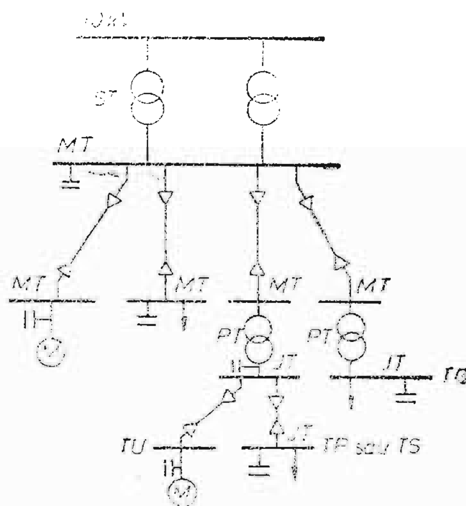


Fig. 6.3. Posibilități de amplasare a condensatoarelor derivație în instalația electrică a consumatorului:

ST — stație de transformare; *PT* — post de transformare; *MT* — medie tensiune; *JT* — joasă tensiune; *TG* — tablou general; *TP* — tablou principal; *TS* — tablou secundar; *TU* — tablou utilaj.

Criteriile care orientează alegerea amplasamentelor sînt următoarele:

— existența posibilităților de încadrare a sursei în instalația respectivă (celulă de racordare a barelor generale, spațiu pentru surse);

— realizarea de reduceri cît mai mari a pierderilor de putere activă în rețele;

— menținerea în limite economice a investițiilor pentru surse;

— amînarea pe cît posibil a investițiilor costisitoare pentru rețea (linii, stații și posturi de transformare);

— eliminarea necesității unor instalații costisitoare de reglaj a tensiunii.

4) *Stabilirea soluției optime de compensare*

După alegerea tipului sursei de compensare, pentru fiecare soluție de amplasare posibilă, pe baza analizei economice prin metoda cheltuielilor actualizate (subcap. 6.8), se va compara varianta fără compensare (corespunzătoare cosφ natural) cu varianta de compensare la cosφ neutral.

În acest mod va rezulta soluția optimă de compensare, din punct de vedere tehnico-economic, atît ca tip, cît și ca putere și amplasarea sursei de putere reactivă.

6.5. CONDENSATOARE DERIVAȚIE

Condensatoarele derivație sînt surse de putere reactivă montate în paralel cu rețeaua sau receptoarele.

6.5.1. CARACTERISTICILE CONDENSATOARELOR

Puterea reactivă a unui condensator este dată de relația

$$Q_c = m\omega C_f U_f^2, \tag{6.5}$$

în care m este numărul de faze, $\omega = 2\pi f$ — pulsația tensiunii de alimentare U_f (pe fază), C_f — capacitatea condensatorului pe fază.

Din punct de vedere al conexiunilor, condensatoarele sînt monofazate și trifazate, legate în stea sau în triunghi (fig. 6.4).

Puterea condensatorului trifazat în conexiune stea este

$$Q_r = \omega C_f U_l^2, \tag{6.6}$$

iar pentru cea în triunghi

$$Q_c = 3\omega C_{f\Delta} U_l^2. \tag{6.7}$$

Curentul condensatorului monofazat este

$$I_{fc} = \frac{Q_c}{U_f}, \tag{6.8}$$

iar cel al condensatorului trifazat, independent de conexiune, este

$$I_{lc} = \frac{Q_c}{\sqrt{3}U_l}. \tag{6.9}$$

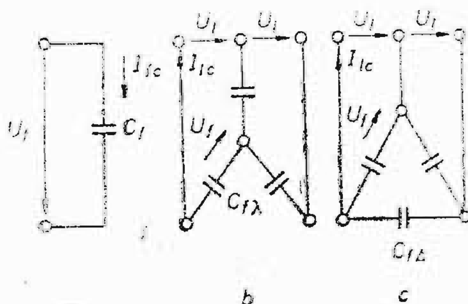


Fig. 6.4. Conexiunile condensatoarelor:
a — monofazat; *b* — trifazat în stea; *c* — trifazat în triunghi.

Tensiunea de alimentare poate fi joasă sau medie.

Din punct de vedere al frecvenței, condensatoarele pot fi de frecvență industrială (50 Hz) și de medie frecvență (100—10000 Hz). Acestea din urmă, utilizate în special pentru compensarea cuptoarelor de inducție, au pierderile active ΔP_c mult sporite, conform relației

$$\Delta P_c = 2\pi f C U \ \text{tg}\ \delta, \tag{6.10}$$

în care tg δ este factorul de pierderi al dielectricului.

După mediul de instalare sînt condensatoare de interior și de exterior.

În tabelul 6.2 sînt date caracteristicile condensatoarelor fabricate în țara noastră. Cele două tipuri principale se deosebesc prin mediul de impregnare, care poate fi ulei mineral CU sau ulei sintetic CS. Acestea din urmă sînt de preferat, uleiul sintetic fiind neinflamabil și avînd pierderi mai reduse.

Condensatoarele unitare descrise pînă în prezent se montează în paralel și în serie, în funcție de tensiunea nominală a rețelei, formînd bateriile de condensatoare cu puteri de la zeci de kvar la zeci de Mvar și tensiuni între 0,38 și 6,3 kV. Conexiunea în triunghi se întîlnește în special la *JT*, iar cea în stea sau stea dublă cu neutrul izolat față de pămînt la MT.

După modul de conectare la rețea bateriile de condensatoare sînt:

— *fixe*, nedispunînd de aparataj de conectare;

— *comutabile*, dispunînd de astfel de aparataj.

Bateriile comutabile pot fi comandate *manual* sau *automat*.

Bateriile de condensatoare se montează pe stative sau în dulapuri.

În R.S.România se produce o serie tipizată de dulapuri cu condensatoare de joasă tensiune BACD-0,38 kV [3] cu:

— 1, 3, 4 și 5 trepte;

— puteri totale între 60 și 900 kvar;

— echipament de conectare, protecție, automatizare tip BACM, MAJ sau (și) BCA.

Tabelul 6.2

Caracteristicile nominale ale condensatoarelor ($f = 50$ Hz) fabricate în R. S. România

Tipul condensatorului	Q_{nc}, [kvar]	U_{nc}, [kV]	C_{nf}, [μF]	Nr. faze
CU—0,38—15—3	15	0,380	110	3
CU—0,50—15—1	15	0,500	193	1
CU—0,50—15—3	15	0,500	64	3
CS—0,38—15—1	15	0, 380	330	1
CS—0,38—15—3	15	0, 380	110	3
CS—0,38—20—3	20	0,380	146	3
CS—0,50—15—1	15	0,500	193	1
CS—0,50—15—3	15	0,500	64	3
CS—3,64/6,3—100—E	100	3,64	24	1
CS—6,06—100—E	100	6,06	8,65	1
CS—3,3—80—E	80	3,3	23,4	1

Obs. E — exterior.

Dulapurile de condensatoare de MT, BACD — 16 kV [19] au:

— 1, 3 trepte;

— puteri totale între 150 și 6750 kvar.

6.5.2. CALCULUL BATERIEI DE CONDENSATOARE

1) *Puterea reactivă*

Determinarea puterii reactive a bateriei de condensatoare se face pe baza relației:

$$Q_c = P_1(\text{tg}\ \varphi_1 - \text{tg}\ \varphi_2), \tag{6.11}$$

rezultată din relația (6.3) în care ΔP s-a neglijat: relația este reprezentată în tabelul 6.3. Se recomandă și utilizarea relației (6.4).

La compensarea individuală a transformatoarelor, puterea bateriei va acoperi numai necesarul la mersul în gol al acestora

$$Q_{c0} \leqslant (0,1 \dots 0,2) S_{nT}. \tag{6.12}$$

La compensarea individuală a motoarelor asincrone

$$Q_{co} \leqslant 0,9\ Q_{mo}, \tag{6.13}$$

Tabelul 6.3

Puterea reactivă a surselor de compensare, pentru 1 kW putere activă a consumatorului

cos φ₁ \ cos φ₂	0,8	0,85	0,9	0,92	0,95	1
0,5	0,983	1,116	1,248	1,308	1,408	1,732
0,55	0,761	0,894	1,026	1,086	1,186	1,51
0,6	0,578	0,711	0,843	0,903	1,003	1,327
0,65	0,414	0,547	0,679	0,739	0,839	1,163
0,7	0,268	0,401	0,533	0,593	0,693	1,017
0,75	0,13	0,263	0,395	0,455	0,555	0,879
0,8	—	0,133	0,265	0,325	0,425	0,749
0,85	—	—	0,132	0,192	0,292	0,624
0,9	—	—	—	0,06	0,16	0,484
0,92	—	—	—	—	0,1	0,424
0,95	—	—	—	—	—	0,324

Observații. cos φ_1 **este factorul** de putere natural; cos φ_2 — factorul de putere neutral.

în care Q_{m0} este puterea de mers în gol a motorului. Pentru motoarele avînd puterea nominală P_{nm} peste 30 kW se poate utiliza relaţia aproximativă

$$Q_{c0} \approx 0{,}35\ P_{nm}. \tag{6.14}$$

Numărul necesar de condensatoare ce formează bateria este

$$n = \frac{Q_c}{Q_{nc}}, \tag{6.15}$$

în care Q_{nc} este puterea nominală a condensatorului unitar (tab. 6.2).

Dacă tensiunea reţelei U_r este diferită de cea nominală U_{nc} a condensatoarelor, puterea acestora va fi corectată conform relaţiei

$$Q_c = Q_{nc}\left(\frac{U_r}{U_{nc}}\right)^2. \tag{6.16}$$

Bateriile comutabile automat pot fi fracţionate în mai multe trepte de putere. În acest mod bateria se adaptează la curba de sarcină reactivă şi la sarcini reduse consumatorul nu va debita energie reactivă în sistem.

Puterea treptelor se stabileşte cu ajutorul curbelor de sarcină reactivă zilnică, după cum urmează (v. şi fig. 6.5):

— treapta de bază va fi fixă şi va avea valoarea mai mică decît Q_{c0} corespunzătoare mersului în gol al transformatorului (la compensare centralizată — rel. 6.12, iar la compensare individuală — rel. 6.13).

— următoarele trepte este indicat să aibă aceeaşi valoare, egală cu variaţia minimă de putere reactivă Q_{ct} care prezintă o frecvenţă ridicată; numărul de trepte rezultă prin raportarea puterii nominale a bateriei (rel. 6.11) la puterea unei trepte.

Din considerente de economicitate bateriile comutabile automat se realizează de preferinţă cu un număr maxim de trei trepte de putere, puterea pe treaptă fiind peste 250 kvar în JT şi peste 1 000 kvar în MT.

O indicaţie suplimentară pentru stabilirea numărului de trepte şi a puterii unei trepte, se referă la limitarea la valoarea de 3% [38] a şocului

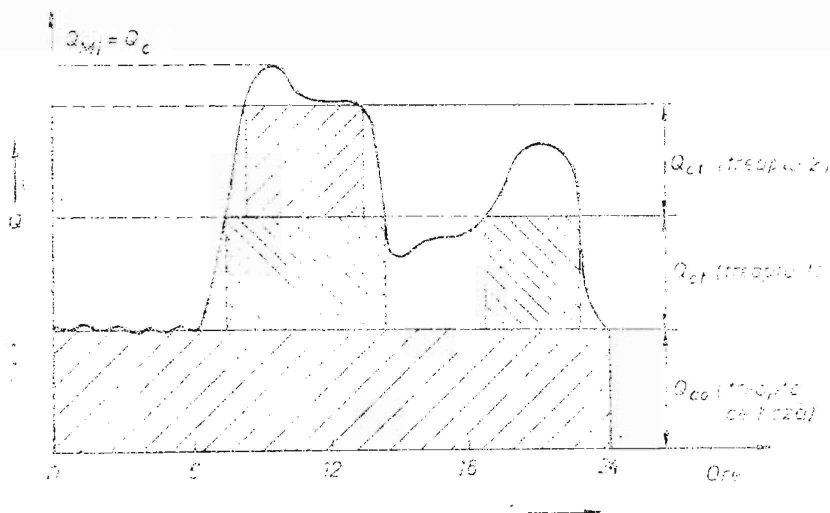


Fig. 6.5. Diagrama de lucru a bateriei comutabile în trepte.

de tensiune ΔU pe bara de MT, produs de comutarea bateriei de condensatoare (par. 6.5.3). Rezultă puterea unei trepte

$$Q_{ct} = \frac{\Delta U[\%] S_{sc}}{100} \leqslant \frac{3}{10^4} S_{sc} \qquad (6.17)$$

S_{sc} fiind puterea trifazată de scurtcircuit în punctul de racordare al bateriei.

2) *Amplasarea bateriei de condensatoare*

Bateriile de condensatoare se pot amplasa conform figurii 6.3 ținînd cont de criteriile enunțate la punctul *c* al subcapitolului 6.4.

Pentru compensarea individuală a receptoarelor se recomandă baterii fixe, avînd puteri pînă la 100 kvar la JT și sute de kvar la MT.

Bateriile comutabile se utilizează la compensarea centralizată a consumatorilor.

Bateriile comutabile manual ajung la puteri de circa 250 kvar în JT și circa 1 000 kvar în MT. Peste aceste valori și mai ales în situațiile în care sarcinile reactive sînt variabile, se utilizează baterii comutabile automat, fracționate în trepte de putere.

3) *Condiții pentru compensarea cu condensatoare*

Suprasarcinile maxim admise ale condensatoarelor, în regim de durată în raport cu valorile nominale, sînt conform STAS 7083-71 următoarele:

$$I_{Mc} = 1,3 I_{nc}; \qquad (6.18)$$

$$U_{Mc} = 1,1\ U_{nc}; \qquad (6.19)$$

$$Q_{Mc} = 1,43 Q_{nc}. \qquad (6.20)$$

Suprasarcinile pot apare datorită:

— variațiilor mari de tensiune (laminoare, cuptoare cu arc); se va verifica condiția (6.19) pe baza înregistrărilor curbei de tensiune în punctul de racordare al bateriei;

— armonicilor superioare de curent și tensiune generate de receptoare deformante; se vor verifica condițiile (6.18) ... (6.20) conform indicațiilor cuprinse în capitolul 7.

6.5.3. CONECTAREA ȘI DECONECTAREA BATERIILOR DE CONDENSATOARE [18]

La comutația bateriilor apar supracurenți și supratensiuni.

Din punct de vedere al acestor fenomene bateriile de condensatoare pot fi:

— *simple*, în cazul în care în apropierea lor nu există alte baterii care ar putea mări curentul de conectare;

— *în trepte*, al căror curent de conectare este mărit în mod apreciabil de condensatoarele conectate la rețea.

1) *Conectarea bateriei simple*

Din experiența bateriilor de condensatoare în funcțiune rezultă următoarele valori pentru raportul dintre amplitudinea I_{Mcc} a curentului de conectare și curentul nominal de linie I_{lc} al bateriei simple:

$$\frac{I_{Mcc}}{I_{lc}} = 3 \ldots 10, \text{ la tensiuni de } 220 \ldots 500\ \text{V} \qquad (6.21)$$

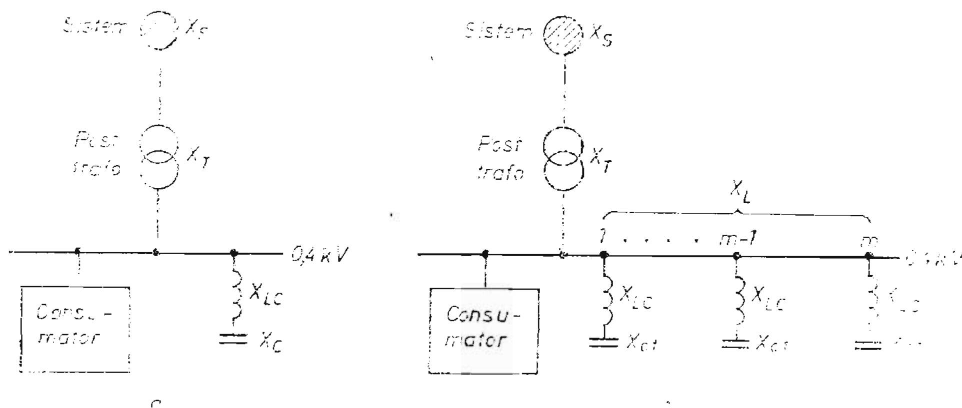


Fig. 6.6. Schema electrică echivalentă a compensării unui consumator printr-o baterie: *a* — simplă; *b* — în trepte.

şi

$$\frac{I_{Mcc}}{I_{lc}} = 5 \ldots 10, \text{ la tensiuni de } 1 \ldots 20 \text{ kV}. \qquad (6.22)$$

Pentru stabilirea I_{Mcc} se consideră schema echivalentă din figura 6.6, *a* de compensare a unui consumator printr-o baterie de condensatoare simplă, conectată la barele de JT ale postului de transformare; X_S este reactanţa sistemului, X_T — reactanţa transformatorului, X_c — reactanţa bateriei, X_{Lc} — reactanţa inductivă a conductoarelor de legătură a bateriei la barele generale.

Neglijind amortizarea circuitului, amplitudinea curentului de conectare se poate calcula cu relaţia:

$$I_{Mcc} = \sqrt{2} I_{lc} \left(1 + \sqrt{\frac{S_{sc}}{Q_c}}\right) = \sqrt{2} I_{lc} \left(1 + \sqrt{\frac{X_c}{X_L}}\right), \qquad (6.23)$$

în care: S_{sc} este puterea de scurtcircuit a sistemului energetic, în punctul de racord al bateriei;

Q_c — puterea bateriei de condensatoare, iar $X_L = X_S + X_T + X_{Lc}$; frecvenţa proprie de oscilaţie a circuitului la $f = 50$ Hz este

$$f_p = f \sqrt{\frac{S_{sc}}{Q_c}}. \qquad (6.24)$$

Ţinînd cont de factorul de amortizare *d* al circuitului (*d* depinde de $\sqrt{\frac{L}{C}}$ şi R, în care R, L sînt rezistenţa, respectiv inductivitatea circuitului sistem-transformator-conductoare de legătură a condensatorului C la bare), în figura 6.7 este dată variaţia amplitudinii curentului de conectare.

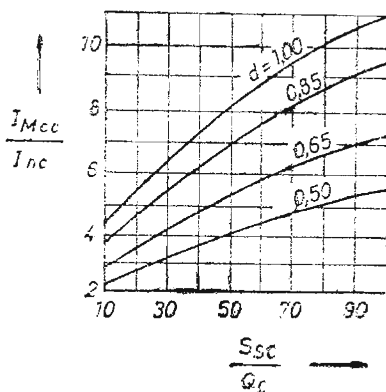


Fig. 6.7. Variaţia amplitudinii curentului de conectare în funcţie de puterea de scurtcircuit şi factorul de amortizare.

Reducerea curentului de conectare este posibilă prin introducerea unor bobine de reactanță în serie cu bateria de condensatoare (se mărește termenul X_{Lc}).

Supratensiunea U_{Mcc} care apare în circuit la conectarea condensatoarelor nu depășește în general dublul valorii maxime a tensiunii U_r a rețelei de alimentare, adică

$$\frac{U_{Mcc}}{U_r\sqrt{2}} \leqslant 2. \tag{6.25}$$

2) *Deconectarea bateriei simple*

Valoarea amplitudinii I_{Mdc} a curentului de deconectare al bateriei simple, este

$$I_{Mdc} = \frac{U_{Mdc}}{U_r}\sqrt{\frac{3}{2}}\,\frac{f_c}{2\pi f}\,I_{lc}, \tag{6.26}$$

în care U_{Mdc} este supratensiunea la deconectare (relația 6.27). Valoarea curentului de deconectare este întotdeauna mai mare decît cea a curentului de conectare.

Din punct de vedere al tensiunii situația cea mai defavorabilă apare cind punctul neutru al rețelei este legat la pămînt, iar punctul neutru al bateriei este izolat.

Supratensiunea care apare poate să atingă valoarea

$$U_{Mdc} = 3{,}36\sqrt{2}\,U_r. \tag{6.27}$$

3) *Conectarea bateriei în trepte*

Curentul de conectare al unei trepte este mărit în mod apreciabil de treptele conectate în prealabil la rețea. Supracurentul maxim apare deci la conectarea ultimei trepte, situație în care condensatoarele celorlalte trepte aflate sub tensiunea $\sqrt{2}\,U_r$, se descarcă pe cele ale ultimei trepte.

Amplitudinea curentului de conectare neamortizat al ultimei trepte m în ipoteza că toate treptele au aceeași reactanță X_{ct} (fig. 6.6, *b*), este

$$I_{Mcc} = \frac{2}{\sqrt{3}}\,I_{lct}\,\frac{m-1}{m}\sqrt{\frac{X_{ct}}{X_L}}, \tag{6.28}$$

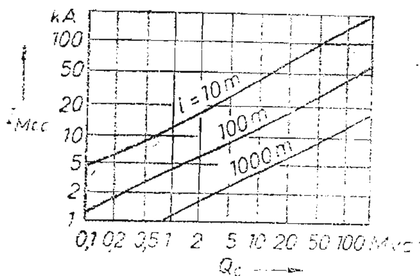


Fig. 6.8. Amplitudinea curentului de conectare neamortizat la conectarea ultimei trepte a unei baterii formate din două trepte egale, în funcție de puterea Q_c a bateriei și lungimea l a barelor de legătură.

în care: I_{lct} este curentul nominal de linie al condensatoarelor unei trepte;

X_L — reactanța inductivă a conexiunilor între trepte ($L = 0{,}4 \ldots 1$ μH/m).

Pentru o orientare rapidă, în figura 6.8 se reprezintă amplitudinea curentului de conectare neamortizat în funcție de puterea bateriei conectate și de lungimile barelor de legătură, în ipoteza că bateria este formată din două trepte egale și inductivitatea conductoarelor de legătură este de 1 μH/m.

Reducerea curentului de deconectare se realizează prin înserierea unor bobine care măresc valoarea X_L din relația (6.28).

Supratensiunea maximă apare la conectarea primei trepte și poate atinge cel mult dublul valorii tensiunii rețelei de alimentare (rel. 6.25).

4) *Deconectarea bateriei în trepte*

Cu oarecare aproximație se pot utiliza indicațiile și relațiile de la conectarea bateriei în trepte.

Observație. Relațiile prezentate în cadrul acestui paragraf au un caracter informativ, deoarece există mari dificultăți în determinarea parametrilor circuitului și a tensiunii de reamorsare a arcului, valorile obținute pentru supracurenți și supratensiuni fiind însă acoperitoare pentru calcule.

6.5.4. DESCĂRCAREA BATERIILOR DE CONDENSATOARE

Pentru a evita electrocutarea personalului în cazul intervențiilor la baterii, acestea trebuie să se descarce rapid după deconectare.

Descărcarea se realizează prin:

— lămpi electrice cu incandescență sau rezistoare conectate la bornele bateriei, în JT;

— înfășurările motoarelor sau transformatoarelor compensate individual, în JT sau MT;

— transformatoare de tensiune conectate în V, la MT;

— rezistoare de descărcare ale întreruptoarelor speciale pentru bateriile de condensatoare.

Instalația de descărcare trebuie să asigure scăderea tensiunii sub valoarea maxim admisă $U_{adm} = 42$ V în timpul de descărcare t_d de maximum 5 minute la baterii de MT și de maximum 1 minut la bateriile de JT [38].

Valoarea rezistenței de descărcare este dată de relația

$$R = \frac{t_d}{C_{nf} \ln \frac{U_f \sqrt{2}}{U_{adm}}}, \qquad (6.29)$$

în care: C_{nf} este capacitatea nominală pe fază a bateriei, iar U_f — tensiunea de fază a rețelei. Pe baza acestei relații s-a construit nomograma din figura 6.9, care permite determinarea valorii maxime a rezistenței de descărcare R pentru o baterie de capacitate C_{nf} dată, astfel încît după trecerea timpului de descărcare t_d impus, tensiunea la bornele bateriei să aibă o valoare inferioară tensiunii maxim admise U_{adm}; nomograma se parcurge în sensul indicat de săgeți.

6.5.5. ECHIPAMENTUL ELECTRIC ȘI SCHEMELE DE PRINCIPIU ALE BATERIILOR DE CONDENSATOARE

Echipamentul electric al bateriilor de condensatoare se compune din:

— aparate de protecție împotriva scurtcircuitelor externe și împotriva supracurenților, împotriva supratemperaturilor mediului ambiant și împotriva electrocutării;

— aparate de măsurat;

— sisteme de reglare automată.

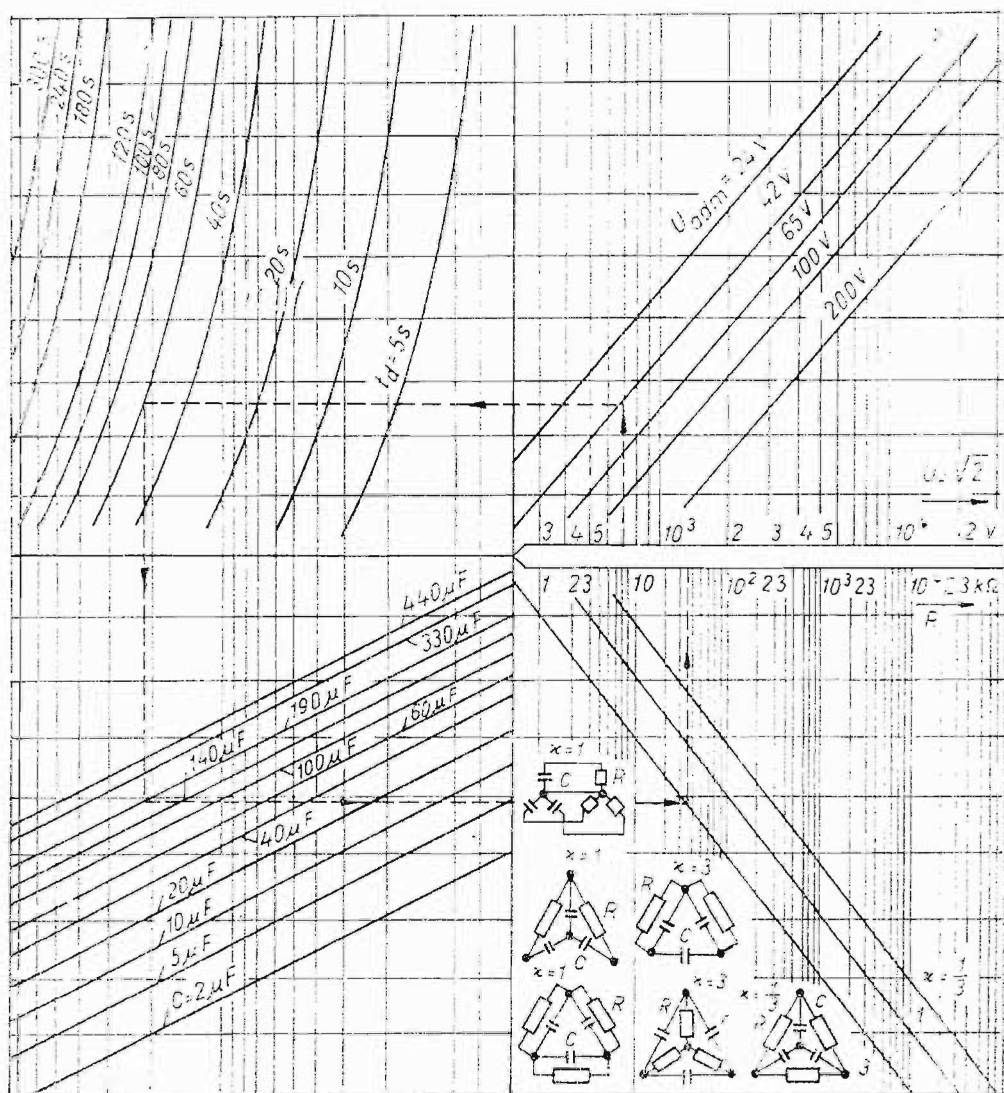


Fig. 6.9. Nomogramă de calcul a circuitelor de descărcare pentru bateriile de condensatoare.

Protecţia împotriva scurtcircuitelor externe şi a supracurenţilor este realizată cu:

— siguranţe fuzibile, în cazul bateriilor fixe de JT;

— siguranţe fuzibile şi contactoare cu relee termice, în cazul bateriilor comutabile manual sau automat, cu una sau mai multe trepte de JT;

— siguranţe fuzibile şi separatoare de sarcină, în cazul bateriilor fixe şi comutabile manual, de MT;

— întreruptoare automate, în cazul bateriilor comutabile manual sau automat, cu una sau mai multe trepte, de JT sau MT.

Siguranțele fuzibile rapide se aleg pe baza condițiilor:

$$U_{nf} \geqslant U_r ; \qquad (6.30)$$

$$I_{nf} \geqslant I_{nc} ; \qquad (6.31)$$

$$I_{nf} \geqslant \frac{I_{Mdc}}{2,5} \qquad (6.32)$$

și

$$I_r \geqslant {}_{Mdc}I. \qquad (6.33)$$

În aceste relații: U_{nf}, I_{nf} sînt tensiunea, respectiv curentul nominal al fuzibilului siguranței: U_r — tensiunea rețelei de alimentare; I_{nc} — curentul nominal al bateriei sau treptei de condensatoare; I_{Mcc}, I_{Mdc} — amplitudinea curentului de conectare, respectiv deconectare a bateriei sau treptei; I_r — capacitatea de rupere a fuzibilului siguranței.

Contactoarele cu relee termice și întreruptoarele automate trebuie să îndeplinească condițiile:

$$U_n \geqslant U_r ; \qquad (6.34)$$

$$I_n \geqslant 1,4\ I_{nc} ; \qquad (6.35)$$

$$I_i \geqslant I_{Mcc} ; \qquad (6.36)$$

$$I_r \geqslant I_{Mdc}. \qquad (6.37)$$

În aceste relații: U_n, I_n sînt tensiunea, respectiv curentul nominal al aparatului; I_i^1, I_r sînt capacitatea la închidere, respectiv de rupere.

Releele termice se reglează la valoarea

$$I_{rt} = 1,3\ I_{nc}, \qquad (6.38)$$

iar releele electromagnetice cu acțiune instantanee la

$$I_{ri} \geqslant 1,2\ I_{nc}. \qquad (6.39)$$

Conductoarele de legătură la bare ale bateriei de condensatoare se dimensionează la curentul maxim cerut

$$I_c \geqslant 1,4\ I_{nc}. \qquad (6.40)$$

Observații. *1.* Tipurile întreruptoarelor și separatoarelor de sarcină de medie tensiune fabricate în țara noastră, verificate pentru conectarea condensatoarelor sînt indicate în tabelul 6.4.

2. Reducerea I_{Mdc} și I_{Mcc} în ideea micșorării capacităților de rupere și închidere ale aparatelor, se obține prin înserierea unor bobine de reactanță cu bateriile de condensatoare; bobinele se protejează împotriva supratensiunilor prin descărcătoare.

Protecția împotriva scurtcircuitelor interne, provocate de străpungerea dielectricului, se realizează în două moduri:

— cu siguranțe fuzibile montate în cuva condensatoarelor, pe fiecare fază;

— cu relee, în special pentru bateriile de MT; la conexiunea stea dublă a condensatoarelor se utilizează protecție de curent sau tensiune minimă (fig. 6.12 și 6.13) care sesizează dezechilibrarea neutrului bateriei defecte, iar la conexiunea triunghi — protecția diferențial-transversală [18].

Condensatoarele trebuie deconectate de la rețea dacă temperatura ambiantă depășește +35 °C. Aceasta impune pe de o parte ventilarea

Tabelul 6.4

Caracteristicile întreruptoarelor şi separatoarelor de sarcină de medie tensiune fabricate în R. S. România, utilizate pentru conectarea bateriilor de condensatoare

Tipul întreruptorului	Curent de rupere în sarcină capacitivă, I_r [A]	Curent de închidere, I_i [kA]
IUP—10/630	230	42
IO—10/630	315	62
IO—10/1250		66
IO—10/2500		80
IUP—15/630		41,5
IO—15/630	170	60
IO—15/1250		63
IO—15/2500		73,5
IUPM—24/630		34
IUP—25/1250		38,5
IO—20/630	400	43
IO—20/1250		53
IO—20/2500		53
STIS—10/400	40	
STIS—20/200	30	

naturală sau forţată a încăperiior în care se montează bateriile şi pe de altă parte prevederea, la bateriile mari, a termometrelor cu contacte, care să comande declanşarea întreruptoarelor automate.

Protecţia împotriva electrocutării se realizează prin descărcarea condensatoarelor deconectate de la reţea (par. 6.5.4) şi prin legarea de protecţie la pămînt a cuvelor.

Aparatele de măsură necesare unei exploatări corecte a bateriilor de condensatoare sînt:

— ampermetre pe fiecare fază, pentru sesizarea supracurenţilor datoraţi armonicilor superioare şi a dezechilibrului provocat de topirea siguranţelor fuzibile interioare;

— un voltmetru pentru sesizarea unei supratensiuni excesive.

Sistemul de reglare automată permite reglajul puterii unei baterii comutabile, prin conectarea sau deconectarea treptelor în funcţie de variaţiile puterii reactive, evitîndu-se în acest mod debitarea de energie reactivă în sistemul energetic. Regulatoarele automate comandă întreruptoarele sau contactoarele treptelor în funcţie de puterea reactivă (blocul de comandă automată *BCA*), factorul de putere sau tensiunea, măsurate în punctul de racordare al bateriei de condensatoare.

Blocul *BCA* este un regulator tripoziţional cu acţionare pas cu pas. Regulatorul automat are ca mărime de intrare curentul reactiv, mărime ce se obţine uşor în blocul de măsură al regulatorului prin intermediul unui modulator serie-paralel cu tranzistori, urmat de un filtru şi un amplificator de curent continuu. Comanda modulatorului se face cu o tensiune proporţională cu tensiunea între fazele R şi S, iar mărimea comandată

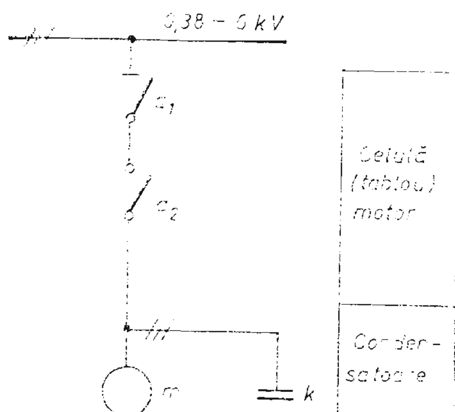


Fig. 6.10. Schema de principiu a compensării individuale în JT sau MT cu baterie fixă.

este o tensiune proporţională cu curentul pe faza T. În acest fel, în cazul unui sistem trifazat echilibrat, mărimea este corectată şi nu necesită ca echipament suplimentar decît un singur transformator de curent. Tensiunea proporţională cu curentul reactiv va comanda în continuare detectorul, a cărui zonă de insensibilitate are o mărime proporţională cu valoarea puterii reactive a unei trepte a bateriei. Realizînd această valoare a zonei insensibilităţii, proporţională şi cu tensiunea reţelei, se obţine un reglaj independent de variaţia tensiunii reţelei.

Regulatorul mai cuprinde un generator de tact şi un numărător electronic reversibil, care printr-un sistem de decodificare, comandă releele de comandă ale contactoarelor.

Figurile 6.10 ... 6.13 prezintă schemele de bază ale bateriilor de condensatoare pentru compensarea individuală şi centralizată, în JT sau MT, cuprinzînd circuitele primare şi secundare aferente.

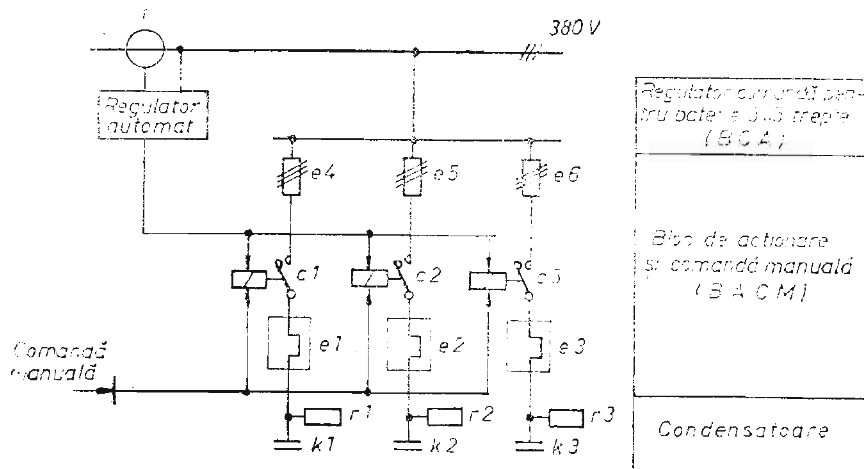


Fig. 6.11. Schema de principiu a compensării centralizate în JT cu baterie comutabilă automat sau manual, în trei trepte.

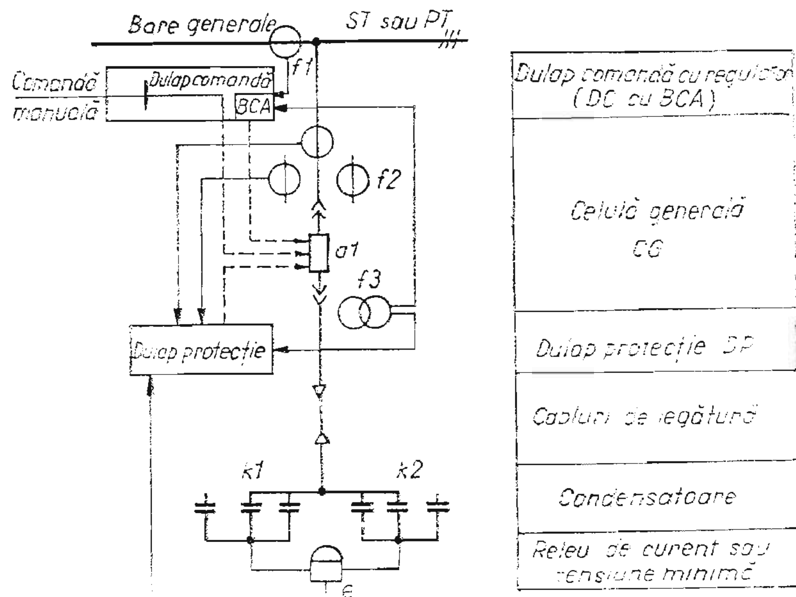


Fig. 6.12. Schema de principiu a compensării centralizate în MT cu baterie comutabilă automat sau manual, cu o treaptă.

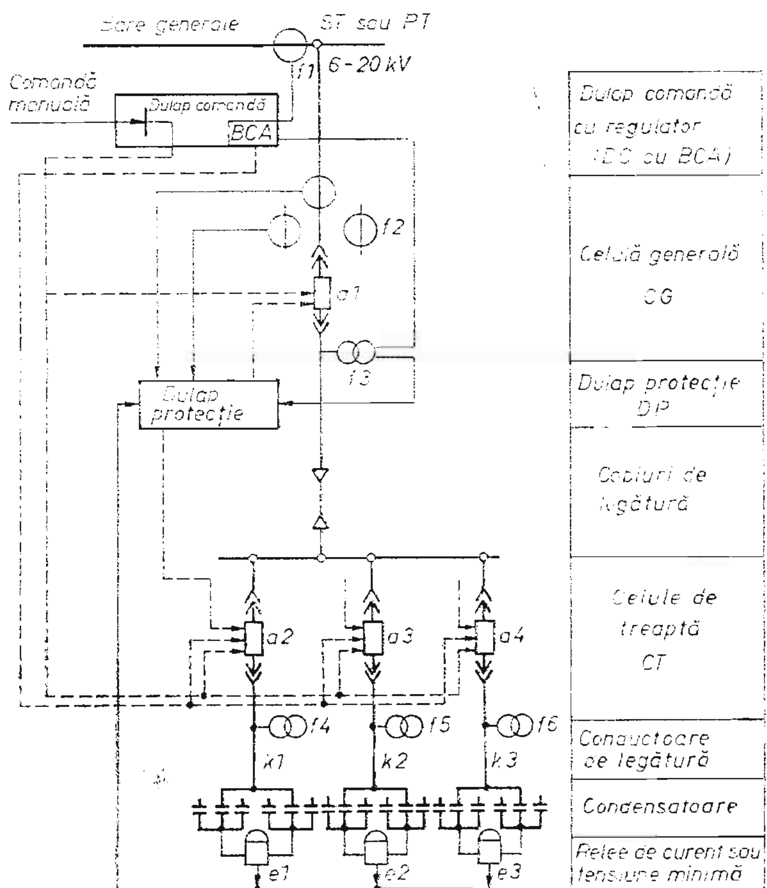


Fig. 6.13. Schema de principiu a compensării centralizate în MT cu baterie comutabilă automat sau manual, cu trei trepte.

6.6. COMPENSATOARE SINCRONE

Compensarea puterii reactive prin folosirea maşinilor electrice sincrone se bazează pe faptul că acestea, în regim de supraexcitaţie, produc putere reactivă.

Maşinile sincrone pot funcţiona ca:

— motoare sincrone, producînd putere mecanică şi putere electrică reactivă;

— compensatoare sincrone, producînd numai putere reactivă.

În afara cazurilor în care procesul tehnologic impune utilizarea motorului asincron, motoarele asincrone compensate individual cu condensatoare derivaţie pot fi înlocuite cu motoare sincrone, dacă această înlocuire este justificată din punct de vedere economic (par. 6.8).

Puterea aparentă S_c a maşinii sincrone (fig. 6.2) se stabileşte din relaţia

$$S_c = \sqrt{\Delta P_c^2 + Q_c^2}, \tag{6.41}$$

în care: ΔP_c reprezintă pierderile de putere activă ale compensatorului sincron sau suma aceloraşi pierderi cu puterea mecanică în cazul motorului sincron; Q_c — puterea reactivă debitată de maşina sincronă pentru ridicarea factorului de putere al consumatorului la valoarea neutrală $\cos \varphi_2$, adică

$$Q_c = Q_1 - (P_1 + \Delta P_c)\mathrm{tg}\, \varphi_2. \tag{6.42}$$

În ţara noastră se construiesc compensatoare sincrone avînd puterea de 60 Mvar, la tensiunea de 10,6 kV şi 1 000 rot/min. [1].

O problemă specială a compensatoarelor sincrone se referă al adoptarea unui sistem de pornire. Metodele uzuale sînt: pornirea în asincron, pornirea cu motor auxiliar şi pornirea cu autotransformator. Metoda cea mai modernă este cu autotransformator, pornirea fiind directă, prin conectarea sistemului bloc autotransformator — compensator la reţea. Curentul de pornire este redus la circa 40% din curentul nominal, prin variaţia tensiunii de alimentare; la intrarea în sincronism, autotransformatorul este deconectat.

6.7. COMPENSAREA VARIAŢIILOR RAPIDE ALE CONSUMULUI DE PUTERE REACTIVĂ

Între receptoarele de energie electrică care produc în funcţionarea lor variaţii rapide (şocuri) de putere reactivă, se menţionează:

— cuptoarele electrice, care produc variaţii rapide de putere reactivă în special în perioada de topire, cînd se produc scurtcircuite sau stingeri ale arcului electric pe diferitele faze ale sistemului trifazat reprezentat de electrozi;

— laminoarele, prevăzute cu acţionări de curent continuu, alimentate prin mutatoare, care produc variaţii rapide ale puterii reactive la

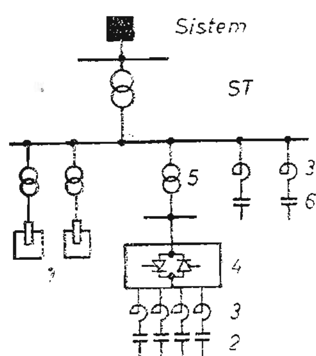


Fig. 6.14. Baterie de condensatoare cu trepte comutabile prin întreruptoare cu tiristoare:

1 — cuptoare cu arc; *2* — baterie (comutabilă) de condensatoare; *3* — bobine de reactanță pentru limitarea curenților de conectare-deconectare; *4* — întreruptor cu tiristoare; *5* — post de transformare; *6* — baterie fixă de condensatoare.

prinderea blocurilor de oțel între cilindrii laminorului.

Pentru evitarea variațiilor bruște de tensiune care apar în rețele ca urmare a variațiilor rapide de putere reactivă, se prevăd compensatoare sincrone cu excitație rapidă sau baterii de condensatoare comutabile automat prin întreruptoare cu tiristoare.

Compensatoarele sincrone de acest tip special se caracterizează printre putere nominală de durată și o putere de vîrf, de scurtă durată (egală cu 2 ÷ 3 ori puterea de durată) și printr-o pantă mai pronunțată de creștere a sarcinii reactive. La compensatoarele destinate cuptoarelor electrice pantele sînt de ordinul 150 ÷ ÷ 200 MVA/s, iar cele utilizate la laminoare au pantele de ordinul 500 ÷ 600 MVA/s.

Comutarea treptelor bateriei de condensatoare prin intermediul contactoarelor uzuale nu permite compensarea rapidă deoarece intervalul de timp între conectările succesive a două trepte este de ordinul a 5 secunde.

Treptele comutate prin întreruptoare cu tiristoare (fig. 6.14) permit reducerea timpului de conectare succesivă a treptelor la 10 ÷ 20 ms.

6.8. EFICIENȚA ECONOMICĂ A COMPENSĂRII PUTERII REACTIVE

6.8.1. METODA CHELTUIELILOR TOTALE ACTUALIZATE

Eficiența economică a compensării puterii reactive se pune în evidență prin metoda cheltuielilor anuale actualizate, comparîndu-se pentru fiecare variantă (mijloace naturale, surse specializate, soluții de amplasare) soluțiile fără compensare (corespunzătoare cos φ natural), cu cele de compensare la diferite nivele ale cos φ, inclusiv cos φ neutral.

Soluția optimă din punct de vedere al eficienței economice se pune în evidență prin comparația următorilor indici:

— cheltuielile anuale în variantele cu și fără compensare;

— durata de amortizare a investiției pentru instalațiile de compensare;

— prețurile de cost ale energiei reactive produse în instalațiile de compensare.

Cheltuielile anuale C conțin următoarele componente:

$$C = C_{Ea} + C_{Ers} + C_{I} + C_{P} \ \text{[lei]}, \qquad (6.43)$$

în care: C_{Ea} este costul energiei active cumpărate de consumator;

C_{Ers} — costul energiei reactive suplimentare cumpărate, în cazul nerealizării factorului de putere neutral;

C_I — cheltuielile anuale pentru instalațiile de compensare (amortizări, întreținere, reparații);

C_p — costul pentru puterea activă a consumatorului.

Durata de amortizare T a investițiilor este dată de raportul investiției I pentru compensare, la economia de cheltuieli ce se realizează datorită compensării

$$T = \frac{I}{C_{\Sigma rs} - C_I} \text{ [ani]}. \qquad (6.44)$$

Compensarea puterii reactive la factorul de putere neutral este avantajoasă, dacă amortizarea instalației de compensare se face în maximum 5 ani.

Costul c al energiei reactive produse în instalațiile de compensare este:

$$c = \frac{C_{\Delta Pc} + C_{\Delta Ec} + C_I}{E_{rc}} \text{ [lei/kvarh]}, \qquad (6.45)$$

în care: $C_{\Delta Pc}$, $C_{\Delta Ec}$ sînt cheltuielile anuale aferente pierderilor de putere, respectiv de energie în instalația de compensare;

E_{rc} — energia reactivă produsă de instalația de compensare.

Economia la costul energiei reactive, în cazul realizării cos φ neutral, rezultă de regulă din costul mai mic al kvarh produsă local la consumator, față de cea cumpărată de la furnizorul energiei electrice în situația în care nu se face compensarea.

Etapele de calcul a indicilor economici menționați sînt următoarele:

1 — alegerea mijloacelor naturale de compensare (subcap. 6.3);

2 — stabilirea curbei anuale de sarcină activă a consumatorului, a puterilor maxime absorbite, active P și reactive Q-denumite consum propriu-zis, la diferite niveluri de tensiune, pentru varianta necompensată;

3 — determinarea circulației de puteri active și reactive în rețelele consumatorului, utilizînd schema electrică echivalentă;

4 — calculul puterilor și energiilor active și reactive pentru varianta necompensată și determinarea factorului de putere natural (rel. 6.1 sau 6.2);

5 — alegerea variantelor de compensare, variabile fiind tipul și amplasarea surselor specializate de putere reactivă (subcap. 6.4);

6 — stabilirea puterii reactive a surselor (rel. 6.3 sau 6.1) și alegerea cos φ neutral (în general 0,92);

7 — calculul puterilor și energiilor, active și reactive, pentru toate variantele de compensare;

8 — calculul factorului de putere, la vîrf de sarcină și anual;

9 — calculul indicilor eficienței economice;

10 — alegerea variantei optime din punct de vedere al eficienței economice, adică al aceleia care prezintă valori minime ale duratei de amortizare T și ale prețului C al energiei reactive.

6.8.2. CALCULUL PUTERILOR ȘI ENERGIILOR

Utilizînd schema echivalentă simplificată din figura 6.15, se prezintă calculul puterilor și energiilor, pe baza circulației puterilor, în variantele fără compensare și cu compensare, cu baterie centralizată fixă de condensatoare Q_c pe barele de JT ale postului de transformare.

Pierderile de putere activă ΔP și reactivă ΔQ se calculează cu ajutorul tabelului 3.24. Pierderile și aportul capacitiv al cablurilor se vor considera numai la determinarea pierderilor totale absorbite din rețea. Pierderile de putere activă în condensatoare sînt:

$$\Delta P_c = p_c Q_c \text{ [kW]}, \tag{6.46}$$

în care p_c sînt pierderile specifice ale condensatoarelor avînd valori în gama 1 ... 5 kW/Mvar (condensatoarele din țară au în prezent $p_c = 3,5$ kW/Mvar.)

Puterile totale active P_c și reactive Q_c, denumite deficite acoperite de sistem, se obțin prin însumarea algebrică a puterilor și pierderilor din schema circulației puterilor.

Energia activă anuală totală deficit este

$$E_{at} = E_a + \Delta E_a + \Delta E_{ac} + E_{acp} \text{ [kWh]}, \tag{6.47}$$

în care: E_a este consumul propriu-zis

$$E_a = P \cdot t_{PM}; \tag{6.48}$$

ΔE_a — pierderile în rețea

$$\Delta E_a = \Delta P_t \cdot \tau; \tag{6.49}$$

ΔE_{ac} — pierderile în instalația de compensare

$$\Delta E_{ac} = \Delta P_c \cdot t_{QM}; \tag{6.50}$$

E_{acp} — producția netă în centrala proprie.

În aceste relații t_{PM} este durata de utilizare anuală a puterii active maxime absorbite (tab. 1.7), τ — timpul anual de pierderi (fig. 3.22) la cos φ neutral și t_{QM} — durata de utilizare anuală a puterii reactive maxime produse de instalația de compensare (circa 3 000 h/an pentru întreprinderi cu un schimb, 5 500 h/an la două schimburi și 5 500 ... 8 000 h/an la trei schimburi);

ΔP_t — pierderile totale de putere activă (fig. 6.15); P — puterea activă maximă absorbită.

Energia reactivă anuală totală (deficit) este

$$E_{rt} = E_r + \Delta E_r - E_{rc}, \tag{6.51}$$

în care: E_r este consumul propriu-zis

$$E_r = Q \cdot t_{QM}; \tag{6.52}$$

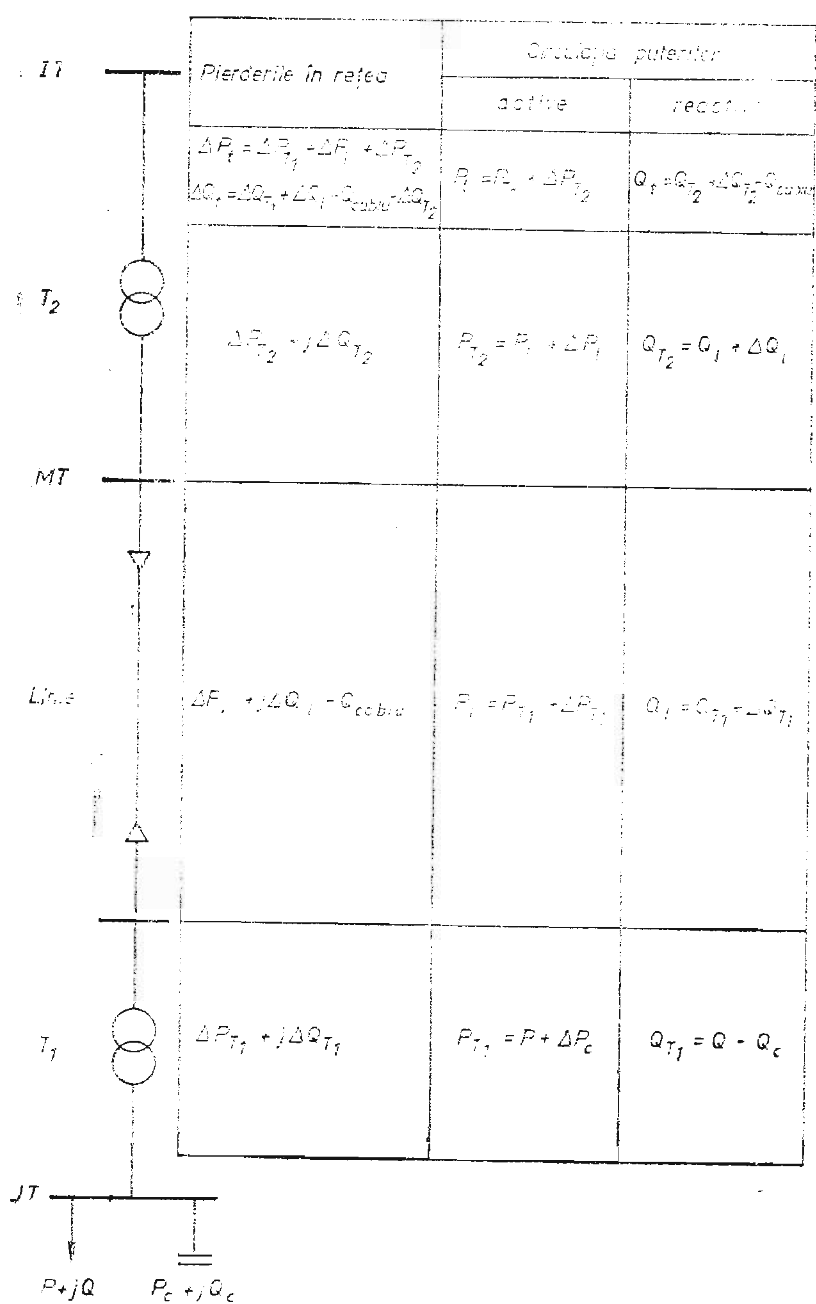


Fig. 6.15. Schema electrică echivalentă simplificată a circulației puterilor active și reactive.

ΔE_r — pierderile în rețea

$$\Delta E_r = \Delta Q_t \cdot \tau ; \quad (6.53)$$

E_{rc} — producția în instalațiile de compensare

$$E_{rc} = Q_C \cdot t_{QM} ; \quad (6.54)$$

Q_t — pierderile totale de putere reactivă (fig. 6.15).

Cota de energie reactivă suplimentară în varianta compensată la un $\cos \varphi \neq \cos \varphi$ neutral este dată de relația

$$E_{rs} = P(\text{tg}\, \varphi_1 - \text{tg}\, \varphi_2)t_{QM}, \quad (6.55)$$

$\text{tg}\, \varphi_1$ corespunzînd $\cos \varphi$ compensat sub $\cos \varphi$ neutral, iar $\text{tg}\, \varphi_2$ la $\cos \varphi$ neutral.

6.8.3. CALCULUL CHELTUIELILOR ANUALE ȘI A EFICIENȚEI ECONOMICE

Costul energiei active cumpărate de consumator este

$$C_{3a} = \alpha_a E_a, \quad (6.56)$$

în care α_a este prețul energiei active în lei/kWh — tabelul 6.1.

Costul energiei reactive suplimentare în cazul nerealizării $\cos \varphi$ neutral este

$$C_{3rs} = \alpha_r E_{rs}, \quad (6.57)$$

în care α_r este prețul energiei reactive (tab. 6.1).

Cheltuielile anuale pentru instalațiile de compensare sînt

$$C_t = c_c I_c, \quad (6.58)$$

în care: c_c sînt cheltuielile anuale relative pentru instalația de compensare, $c_c = 0{,}11$ [39];

I_c — investiția pentru instalația de compensare.

Valoarea investiției este formată din prețul de livrare al uzinei, la care se adaugă cota construcții-montaj de circa 10%. În prețul de livrare al condensatoarelor se vor include toate componentele indicate în figurile 6.11—6.14.

Orientativ, pentru condensatoare

$$I_c = aQ_c \text{ [lei]}, \quad (6.59)$$

în care a reprezintă costurile specifice de investiții, indicate în figura 6.16 (nu s-a inclus costul clădirii).

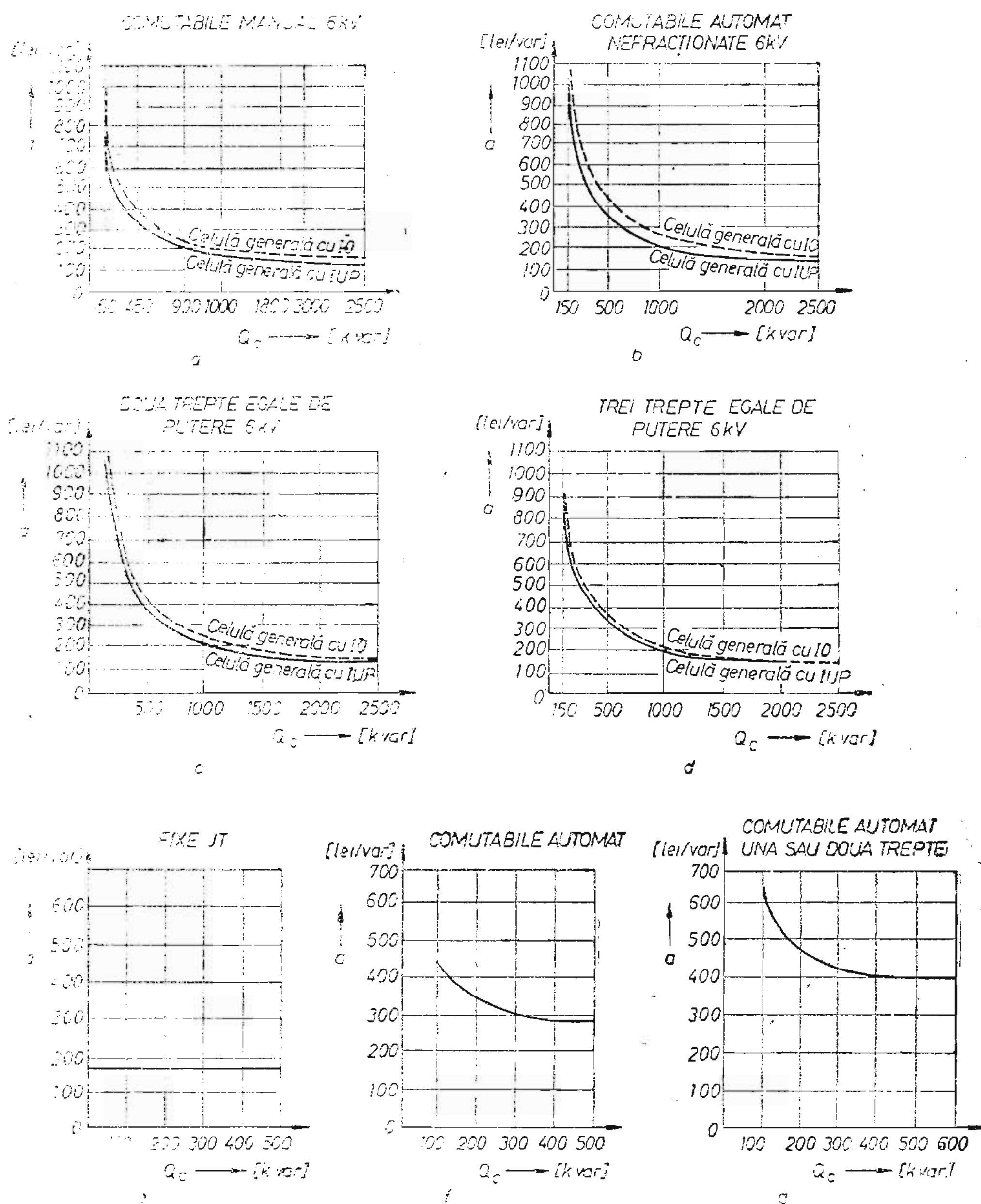


Fig. 6.16. Costurile specifice de investiții *a*, în lei/kvar, ale bateriilor de condensatoare în funcție de puterea bateriei Q_C.

Costul puterii active la consumator este

$$C_p = \gamma P, \tag{6.60}$$

cu γ prețul pentru puterea activă la consumator — tabelul 6.1.

Cheltuielile anuale aferente instalației de compensare sînt:

— pentru pierderile de putere

$$C_{\Delta Pc} = \gamma \Delta P_c ; \tag{6.61}$$

— pentru pierderile de energie

$$C_{\Delta Ec} = \alpha_a \Delta E_{ac} \tag{6.62}$$

Cu relațiile (6.43), (6.44) și (6.45) se calculează indicatorii eficienței economice care permit alegerea variantei optime de compensare.

6.8.4. COMPARAȚIA TEHNICO-ECONOMICĂ ÎNTRE MOTORUL SINCRON ȘI MOTORUL ASINCRON COMPENSAT

Se compară motorul sincron la $\cos\varphi = 1$ cu motorul asincron compensat de la $\cos\varphi$ natural la $\cos\varphi = 1$ cu baterie de condensatoare, din punct de vedere al investițiilor totale și al cheltuielilor anuale.

Investițiile totale sînt:

— pentru motorul sincron

$$I_s = I_{ms} + I_{As} ; \tag{6.63}$$

— pentru motorul asincron

$$I_a = I_{ma} + I_{Aa} + I_c ; \tag{6.64}$$

în aceste relații: — I_{ms} este investiția propriu-zisă pentru motorul sincron, iar I_{As} investiția pentru echipamentul de pornire automată;

— I_{ma} este investiția propriu-zisă pentru motorul asincron, iar I_{Aa} — investiția pentru echipamentul de pornire automată;

— I_c este investiția pentru bateria de condensatoare;

la aceste valori se va include și cota de construcții-montaj.

Cheltuielile anuale pentru motorul sincron cuprind cheltuielile anuale pentru investiție (amortizări, reparații, întreținere) și cheltuielile pentru puterea și energia activă absorbită de motor, conform relației

$$C_s = c_{ms} I_{ms} + c_A I_{As} + k_{is} \frac{P_{ns}}{\eta_s} (\gamma + \alpha_a t_s), \tag{6.65}$$

în care: c_{ms} reprezintă cheltuielile anuale relative pentru motorul sincron;

c_A — cheltuielile anuale relative aferente echipamentului de automatizare

k_{is} — coeficientul de incărcare al motorului sincron;
P_{ns}, η_s — puterea nominală, respectiv randamentul;
γ — prețul pentru putere la consumator;
α_s — prețul energiei active;
t_s — durata anuală de funcționare a motorului.

Cheltuielile anuale pentru motorul asincron conțin în plus și cheltuielile anuale pentru bateria de condensatoare:

$$C_a = c_{ma} I_{ma} + c_A I_{Aa} + k_{ia} \frac{P_{na}}{\eta_{ia}} (\gamma + \alpha_a t_a) + p_c Q_c (\gamma + \alpha_a t_a). \qquad (6.66)$$

Soluția cu motor sincron este avantajoasă dacă investițiile totale şi cheltuielile anuale sînt mai reduse decît cele aferente variantei cu motor asincron compensat sau dacă investiţia suplimentară pentru motorul sincron se amortizează în mai puțin de 5 ani, prin reducerea cheltuielilor de exploatare, adică

$$T = \frac{I_s - I_a}{C_s - C_a} \leqslant 5. \qquad (6.67)$$

Capitolul 7

INSTALAȚII PENTRU REDUCEREA REGIMULUI DEFORMANT

7.1. CAUZELE ȘI EFECTELE REGIMULUI DEFORMANT

Regimul deformant este regimul energetic ale cărui unde de tensiune și curent sînt periodice și cel puțin una dintre ele este nesinusoidală. Acest regim se datorește funcționării în cadrul sistemului energetic a receptoarelor deformante, care produc sau amplifică regimul deformant.

Receptoarele deformante generatoare de tensiuni armonice U_ν (fig. 7.1, *a*) sînt mașinile sincrone în sarcină dezechilibrată și transformatoarele cu circuitul magnetic saturat (armonicile 5 și 7 în special). Generatoare de curenți armonici I_ν (fig. 7.1, *b*) sînt mutatoarele (redresoare, convertoare, cicloconvertoare) care produc armonici de ordinul 5, 7, 11 și 13, cuptoarele cu arc (armonica 3), bobinele cu miez de fier, instalațiile de sudare cu arc electric și lămpile fluorescente (armonica 3). Producerea regimului deformant de către aceste receptoare este o consecință a neliniarității impedanței lor interne.

Condensatoarele derivație sînt receptoare care amplifică regimul deformant. Avînd admitanța proporțională cu frecvența ($Y_\nu = \nu\omega C$), condensatoarele amplifică deformarea curentului față de cea a tensiunii nesinusiodale de alimentare.

Regimul deformant produce următoarele efecte negative în sistemul energetic.

1) Distorsionarea tensiunii și a curentului la toate nivelele dintre generatoare și consumatori. Distorsiunea este caracterizată prin coeficientul de distorsiune al tensiunii

$$\delta_U = \frac{\sqrt{\sum_{\nu=2}^{\infty} U_\nu^2}}{\sqrt{\sum_{\nu=2}^{\infty} U_\nu^2}}\, 100 \ [\%]. \qquad (7.1)$$

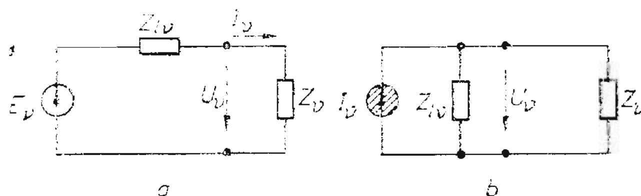


Fig. 7.1. Schema electrică echivalentă a:

a — generatorului de tensiune armonică; *b* — generatorului de curent armonic; ν — ordinul armonicii superioare; E_ν, U_ν și I_ν — armonica de ordinul ν a tensiunii electromotoare, tensiunii la borne și curentului; $Z_{i\nu}$ — impedanța armonică interioară a generatorului; Z_ν — impendanța armonică a sistemului energetic.

sau al curentului

$$\delta_i = \frac{\sqrt{\sum_{\nu=2}^{\infty} I_\nu^2}}{\sqrt{\sum_{\nu=2}^{\infty} I_\nu^2}} \, 100 \ [\%], \tag{7.2}$$

reprezentînd raportul dintre reziduul deformant și valoarea efectivă a undei periodice nesinusoidale; ν este ordinul armonicilor superioare. O undă oarecare este considerată practic sinusoidală dacă

$$\delta \leqslant 5\%. \tag{7.3}$$

2) Supraîncărcarea condensatoarelor prin depășirea valorilor maxim admise — relațiile (6.18) ... (6.20).

3) Supratensiuni de rezonanță armonică datorită circuitelor rezonante formate din condensatoarele derivație instalate pentru compensarea puterii reactive și reactanțele inductive ale sistemului. Aceste tensiuni periclitează atît funcționarea condensatoarelor, cît și cea a receptoarelor.

4) Majorarea pierderilor de putere și energie în rețele datorită puterii aparente mărite

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}, \tag{7.4}$$

în care D este puterea deformantă.

5) Pierderi suplimentare și cupluri parazite în mașinile electrice.

6) Erori în funcționarea aparatelor de măsură, protecție și comandă. Erorile de măsură ale wattmetrelor (pînă la 3%) și ale contoarelor de inducție (pînă la 14%) se datoresc factorului de putere în regim deformant

$$K = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}} = \cos\varphi \, \cos\xi, \tag{7.5}$$

în care $\cos\varphi$ este factorul de putere în absența regimului deformant (rel. 6.1), iar

$$\cos\xi = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}}. \tag{7.6}$$

7.2. CONDENSATOARELE ÎN REGIM DEFORMANT

Dintre toate elementele unei instalații electrice, condensatoarele sînt cel mai mult afectate de regimul deformant, ele constituind circuite de impedanță redusă pentru curenții armonici.

Dacă tensiunea nesinusoidală la bornele condensatorului are valoarea efectivă

$$U = \sqrt{U_1^2 + \sum_{\nu=2}^{\infty} U_\nu^2}, \tag{7.7}$$

atunci curentul prin condensator este

$$I_c = \omega C U_1 \sqrt{1 + \sum_{\nu=2}^{\infty} (\nu^2 - 1) \left(\frac{U_\nu}{U_1}\right)^2}, \tag{7.8}$$

iar puterea

$$Q_c = \omega C U_1^2 \left\{1 + \sum_{\nu=2}^{\infty} \left[(\nu - 1) \left(\frac{U_\nu}{U_1}\right)^2\right]\right\}; \tag{7.9}$$

U_1 este armonica fundamentală a tensiunii de fază.

Cunoscînd armonicile U_ν ale tensiunii, pe baza măsurătorilor şi analizei armonice, se pot determina supraîncărcările maxim admise faţă de valorile nominale în regim sinusoidal

$$\frac{I_c}{I_{nc}} \leqslant 1{,}3, \tag{7.10}$$

$$\frac{U}{U_{nc}} \leqslant 1{,}1 \tag{7.11}$$

şi

$$\frac{Q_c}{Q_{nc}} \leqslant 1{,}43. \tag{7.12}$$

Pentru realizarea condiţiei (7.11) este suficientă alegerea unor condensatoare avînd tensiunea nominală mai ridicată. Neîndeplinirea condiţiilor (7.10) şi (7.12) impune însă adoptarea altor măsuri vizînd reducerea coeficientului de distorsiune al tensiunii pe bare.

7.3. EFECTELE REGIMULUI DEFORMANT ÎN INSTALAŢIILE ELECTRICE

Circulaţia curenţilor armonici în reţele poate constitui un pericol pentru funcţionarea instalaţiilor electrice, în special prin formarea circuitelor rezonante derivaţie condensatoare-sistem. Din acest motiv, compensarea puterii reactive a consumatorilor deformanţi impune o examinare atentă a condiţiilor de funcţionare.

În cazul schemei din figura 7.2, consumatorul deformant este indicat ca un generator de curenţi armonici I_ν. Acest generator alimentează circuitul derivaţie condensatoare-transformator şi sistem.

Frecvenţa de rezonanţă a acestui circuit ($X_{L\nu} = X_{C\nu}$ şi $X_L = X_S + X_T$) este

$$f_{\nu r} = \nu_r \cdot 50 = \sqrt{\frac{X_c}{X_S + X_T}} \cdot 50 = \sqrt{\frac{S_{sc}}{Q_c}} \cdot 50 \text{ [Hz]}, \tag{7.13}$$

în care S_{sc} este puterea de scurtcircuit la barele condensatoarelor. Impedanţa internă $Z_{i\nu}$ a generatorului s-a considerat mult mai mare decît reactanţa echivalentă a circuitului derivaţie.

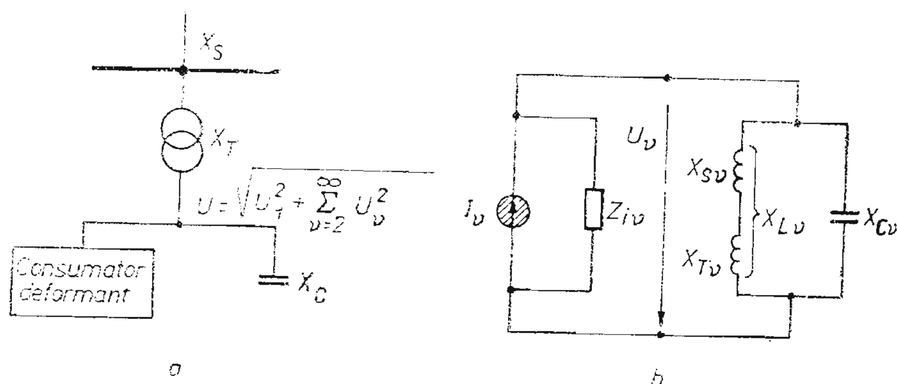


Fig. 7.2. Alimentarea unui consumator deformant cu compensarea puterii reactive printr-o baterie de condensatoare derivație:

a — schema de principiu; *b* — schema echivalentă a impedanțelor armonice.

Deoarece în practică nu se constată curenți armonici de valoare importantă peste armonica de ordinul 13, se consideră că bateria de condensatoare instalată nu prezintă pericol de rezonanță dacă puterea ei satisface relația

$$Q_c < 0{,}005\ S_{sc}, \tag{7.14}$$

rezultată din relația (7.13) prin înlocuirea $\nu = 13$.

În cazul circuitelor complexe, cu mai mulți consumatori deformanți și baterii de condensatoare legate în paralel la unul sau mai multe sisteme de bare, apar mai multe frecvențe de rezonanță.

În majoritatea cazurilor, condiția (7.14) nu este îndeplinită și deci conectarea directă a condensatoarelor la aceleași bare cu receptoare deformante nu este posibilă fără a se lua măsurile suplimentare indicate în paragraful 7.4.

7.4. MIJLOACE PENTRU REDUCEREA REGIMULUI DEFORMANT

În scopul reducerii efectelor regimului deformant se utilizează circuite filtrante, refulante sau absorbante.

Filtrul refulant (fig. 7.3) este realizat prin legarea în serie cu bateria de condensatoare a unei bobine de reactanță X_B în aer (bobină de dezacordare). Valoarea acestei bobine se alege astfel încît reactanța circuitului serie $X_C - X_B$ să aibă caracter capacitiv pentru frecvența fundamentală, iar la frecvențe superioare să aibă caracter inductiv. În acest mod se evită rezonanța între condensatoare și rețea la armonicile superioare, iar curenții armonici sînt refulați în rețea.

Pentru ca filtrul refulant să îndeplineacă acest deziderat este necesar ca

$$X_{L\nu} - X_{C\nu} \geqslant X_{C\nu} \tag{7.15}$$

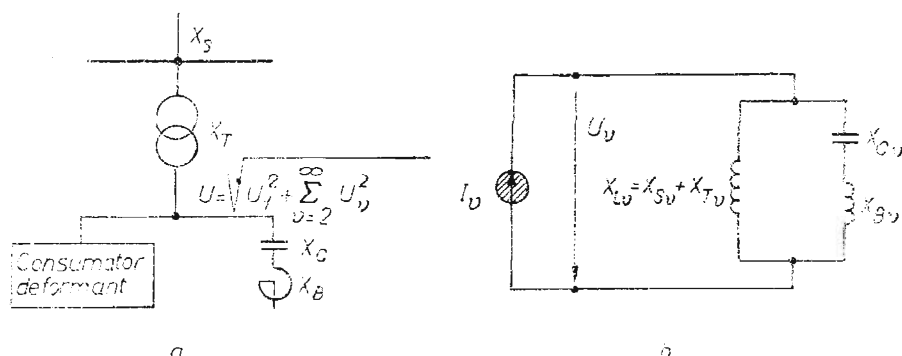


Fig. 7.3. Filtre refulante:
a — schema de principiu; *b* — schema echivalentă a impedanțelor armonice.

sau

$$X_B \geqslant \frac{2}{\nu_m^2} X_C, \tag{7.16}$$

în care X_B, X_C sînt reactanțele corespunzătoare fundamentalei, iar ν_m — ordinul minim al armonicilor superioare indezirabile.

Deoarece tensiunea la bornele condensatoarelor crește cu circa $p\%$ dacă bobina de dezacordare are reactanța procentuală $p\%$, pentru dimensionare se indică ca

$$X_B \geqslant 1,5 \frac{X_C}{\nu_m^2}. \tag{7.17}$$

Utilizarea bobinelor de dezacordare este indicată pentru protecția instalațiilor existente de condensatoare, care nu prezintă posibilități de extindere. În cazul instalațiilor noi, aceste circuite nu sînt recomandate deoarece încarcă rețeaua cu curenții armonici refulați.

Mijlocul cel mai eficace de reducere a regimului deformant îl constituie filtrele absorbante. Aceste filtre (fig. 7.4) sînt realizate din condensatoare X_C conectate în serie cu bobine de reactanță în aer X_B, calculate astfel încît să prezinte rezonanță serie pentru armonicile superioare prezente la barele consumatorului. În acest mod filtrul va absorbi în întregime curentul armonic pe care a fost acordat și în proporție mai redusă și curenți armonici avînd frecvențe apropiate. Bobinele au și rolul de a reduce curenții de conectare ai condensatoarelor.

Filtrele absorbante, conectate în general la barele de medie tensiune ale instalației întreprinderii, se dimensionează ținînd cont de o serie de factori;

— reducerea factorilor de distorsiune în punctul de racord;

— asigurarea puterii reactive capacitative la frecvența fundamentală, necesară compensării puterii reactive a consumatorului;

— verificarea solicitărilor maxim admise ale condensatoarelor și bobinelor componente;

— evitarea posibilităților de rezonanță ale ansamblului circuitelor filtrante cu sistemul energetic, sub influența unor armonici superioare produse de alți consumatori;

— costul optimal al instalației de reducere a regimului deformant.

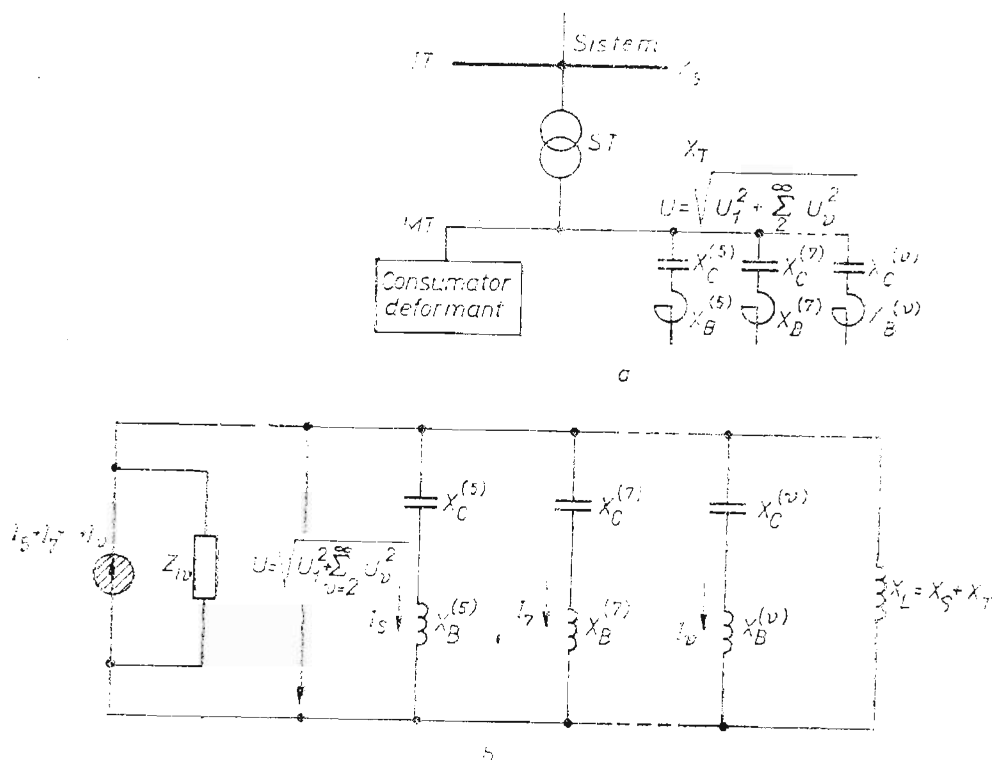


Fig. 7.4. Filtre absorbante:
a — schema de principiu; *b* — schema echivalentă a impedanțelor armonice.

7.5. FILTRE ABSORBANTE

7.5.1. CARACTERISTICILE FILTRELOR

Principalele caracteristici pe faza unui filtru de armonică ν a curentului — figura 7.4, *b* (cu ipoteza simplificatoare că filtrul absoarbe numai fundamentala curentului și armonica I_ν) sînt:

— reactanța bobinei (la rezonanță $X_{B\nu} = X_{C\nu}$)

$$X_B^{(\nu)} = \frac{X_C^{(\nu)}}{\nu^2}, \tag{7.18}$$

$X_B^{(\nu)} = \omega_1 L_B^{(\nu)}$ și $X_C^{(\nu)} = \dfrac{1}{\omega_1 C^{(\nu)}}$ fiind reactanțele corespunzătoare fundamentalei, avînd pulsația $\omega_1 = 2\pi 50\ \text{s}^{-1}$;

— curentul absorbit

$$I^{(\nu)} = \sqrt{I_1^{(\nu)2} + I_\nu^2}, \tag{7.19}$$

avînd fundamentala

$$I_1^{(\nu)} = \frac{U_1}{X_C^{(\nu)}} a, \tag{7.20}$$

în care a este coeficientul de supratensiune

$$a = \frac{\nu^2}{\nu^2 - 1}, \tag{7.21}$$

cu valori cuprinse între 1,006 ($\nu = 13$) și 1,04 ($\nu = 5$);

— tensiunea la bornele condensatorului

$$U_C^{(\nu)} = \sqrt{U_{C1}^{(\nu)2} + U_{C\nu}^2}, \tag{7.22}$$

avînd fundamentala

$$U_{C_1}^{(\nu)} = aU_1 \tag{7.23}$$

și armonica

$$U_{C\nu} = \frac{X_C^{(\nu)}}{\nu} I_\nu; \tag{7.24}$$

deoarece supratensiunea la bornele condensatoarelor nu poate depăși 10%, din relația (7.23) rezultă că filtrele sînt utilizabile numai pentru armonici avînd ordinul $\nu \geqslant 5$;

— puterea condensatoarelor

$$Q_C^{(\nu)} = Q_{C1}^{(\nu)} + Q_{C\nu}, \tag{7.25}$$

în care

$$Q_{C1}^{(\nu)} = U_{C1}^{(\nu)} I_1^{(\nu)} = \frac{U_1^2}{X_C^{(\nu)}} a^2 \tag{7.26}$$

este puterea corespunzătoare fundamentalei tensiunii, iar

$$Q_{C\nu} = U_{C\nu} I_\nu = \frac{X_C^{(\nu)}}{\nu} I_\nu^2 \tag{7.27}$$

este supraîncărcarea datorată armonicii I_ν;

— puterea disponibilă la bornele filtrului, pentru compensarea cos φ

$$Q_1^{(\nu)} = U_1 I_1^{(\nu)} = \frac{U_1^2}{X_C^{(\nu)}} a; \tag{7.28}$$

— caracteristica de frecvență a filtrului reprezintă variația admitanței acestuia în funcție de frecvență (fig. 7.5), conform relației

$$Y_{(\omega)}^{(\nu)} = \frac{1}{\dfrac{1}{\omega C^{(\nu)}} - \omega L_B^{(\nu)}}; \tag{7.29}$$

la rezonanță $\omega_r = \nu\omega_1$, $Y_{(\omega)}^{(\nu)} = 0$.

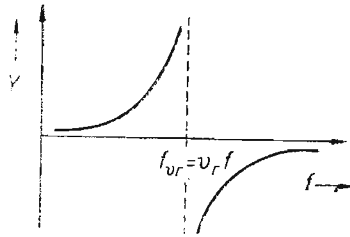


Fig. 7.5. Caracteristica de frecvență a admitanței filtrului absorbant.

7.5.2. PROIECTAREA FILTRELOR

Pe baza oscilogramelor și analizei armonice, se determină armonicile superioare ale curentului și tensiunii, coeficienții respectivi de distorsiune δ_U și δ_I, la diferite nivele ale schemei electrice.

Calculele efectuate conform subcapitolului 6.5 stabilesc puterea Q_c a condensatoarelor necesare compensării puterii reactive. Bateria de condensatoare se poate împărți în două : o parte repartizată în filtre absorbante, cealaltă fiind conectată direct la rețea. Este posibilă și a doua variantă rezultată din cea anterioară, prin repartizarea tuturor condensatoarelor în filtre.

Ordinul și deci numărul filtrelor necesare este dat de armonicile de curent care au pondere mai importantă, ținînd cont totodată și de posibilitățile de rezonanță în sistem (subcap. 7.3).

Caracteristicile filtrelor (par. 7.4.1) se calculează după repartizarea pe filtre a puterii reactive totale pe fundamentală $Q_{1f} \geqslant Q_c$ (se impune o mărire a puterii bateriei ținînd cont de suprasolicitările ce apar la condensatoare în regim deformant), conform relației

$$Q_{1f} = Q_1^{(5)} + Q_1^{(7)} + \ldots + Q_1^{(\nu)} + Q_1^{(\infty)}, \qquad (7.30)$$

în care $Q_1^{(\infty)}$ este puterea bateriei conectată direct la bare.

În literatura de specialitate se întîlnesc mai multe metode de repartizare a puterilor pe filtre, dintre care se remarcă :

— metoda puterii minime a condensatoarelor, utilizată pentru calculul variantei compusă din filtre și condensatoare conectate direct ;

— metoda investițiilor minime, utilizată pentru calculul variantei compuse numai din filtre.

Metoda puterii minime a condensatoarelor filtrului stabilește reactanța acestora pe fază

$$X_c^{(\nu)} = \frac{aU_1}{I_\nu}\sqrt{\nu\frac{\varrho_{c\nu}}{\varrho_{c1}}} \qquad (7.31)$$

și puterea trifazată disponibilă la bornele filtrului (rel. 7.28)

$$Q_1^{(\nu)} = 3U_1 I_\nu \sqrt{\frac{1}{\nu}\frac{\varrho_{c1}}{\varrho_{c\nu}}}. \qquad (7.32)$$

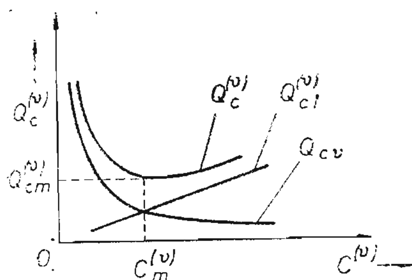


Fig. 7.6. Variația puterilor reactive ale condensatorului aparținînd unui filtru absorbant de ordinul (ν).

Puterea minimă a condensatoarelor $Q_{Cm}^{(\nu)}$ (fig. 7.6), corespunde la $Q_{cl}^{(\nu)} = Q_{c\nu}$, adică valorii capacității filtrului (rel. 7.31)

$$C_m^{(\nu)} = \frac{I_\nu}{\omega_1 a U_1} \sqrt{\frac{1}{\nu}} . \tag{7.33}$$

Pentru $C^{(\nu)} < C_m^{(\nu)}$ puterea reactivă totală ar crește, iar puterea corespunzătoare fundamentalei, care contribuie la compensarea cos φ, ar scădea ; alegînd $C^{(\nu)} > C_m^{(\nu)}$ costul ar crește.

Valoarea bobinei rezultă din relația (7.18).

Metoda investițiilor minime în instalația de filtrare stabilește minimul investiției totale k_t în bobinele de reactanță k_B și condensatoare k_C.

$$k_t = k_B^{(5)} + k_B^{(7)} + \ldots + k_B^{(\nu)} + k_C^{(5)} + k_C^{(7)} + \ldots + k_C^{(\nu)} \tag{7.34}$$

puterea totală pe fundamentală Q_{1t} fiind impusă.

În acest scop se stabilesc termenii condiției de minim, utilizînd multiplicatorii lui Lagrange, sub forma

$$\frac{\partial(k_B^{(5)} + k_C^{(5)})}{\partial Q_1^{(5)}} = \frac{\partial(k_B^{(7)} + k_C^{(7)})}{\partial Q_1^{(\nu)}} = \ldots = \frac{\partial(k_B^{(\nu)} + k_C^{(\nu)})}{\partial Q_1^{(\nu)}} ; \tag{7.35}$$

derivatele parțiale sînt date de relațiile:

$$\frac{\partial k_B^{(\nu)}}{\partial Q_1^{(\nu)}} = -a_B a \frac{3U_1}{Q_1^{(\nu)}} \frac{x_\nu^2}{\nu^2 \sqrt{1 + x^2}} , \tag{7.36}$$

$$\frac{\partial k_C^{(\nu)}}{\partial Q_1^{(\nu)}} = a_C a \frac{1 - \frac{x_\nu^4}{\nu^2}}{\sqrt{1 + x_\nu^2\left(1 + \frac{1}{\nu^2}\right) + \frac{x_2^\nu}{\nu^2}}} . \tag{7.37}$$

în care s-a notat

$$x_\nu = \frac{3U_1 I_\nu}{Q_1^{(\nu)}} ; \tag{7.38}$$

a_B, a_C (în lei/kvar) reprezintă costul specific de investiții al bobinelor, respectiv al condensatoarelor (**fig.** 6.16), iar a este dat de relația (7.21).

Dînd diferite valori puterii $Q_1^{(\nu)}$ debitate de filtre pe fundamentală, deci lui x_ν, se obțin variațiile derivatelor

$$\frac{\partial(k_B^{(\nu)} + k_C^{(\nu)})}{\partial Q_1^{(\nu)}} = f(Q_1^{(\nu)}) \text{ pentru } \nu = 5, 7, 11 \ldots .$$

prin însumarea algebrică a relațiilor (7.36) și (7.37) — figura 7.6. Adunînd ordonatele corespunzătoare aceleași derivate se determină variația

puterii totale Q_{1t} (rel. 7.30 cu $Q_1^{(\infty)} = 0$), în ipoteza satisfacerii condiției de minim al investițiilor pentru filtre. Puterile filtrelor rezultă prin urmărirea traseului indicat cu linie întreruptă în figura 7.7.

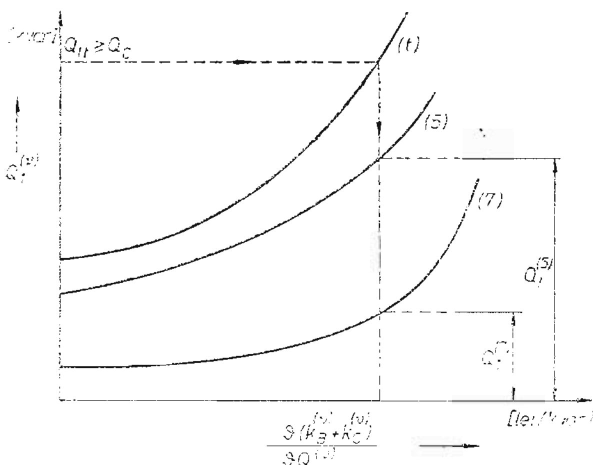


Fig. 7.7. Stabilirea grafică a puterii filtrelor prin metoda investițiilor minime.

În continuare se calculează caracteristicile filtrelor astfel formate (rel. 7.28 și 7.18) și se verifică solicitările maxim admise ale condensatoarelor, precum și noile valori ale coeficienților de distorsiune, care trebuie să îndeplinească condiția (7.3).

Ultima fază a proiectării conține verificarea posibilităților de rezonanță ale filtrelor cu sistemul energetic, sub influența armonicilor produse de alți consumatori (fig. 7.4, *b*) în care în locul consumatorului deformant se introduce o sursă externă avînd admitanța Y_l, — admitanța sistemului energetic. Prezența armonicilor externe se înregistrează prin oscilografierea tensiunilor și curenților pe bare, consumatorul propriu deformant, fiind deconectat.

Caracteristica de frecvență a admitanței

$$Y(\omega) = \sum_{\nu=5,7} Y_\nu(\omega) + Y_l(\omega), \tag{7.39}$$

este reprezentată în figura 7.8. Punctele de intersecție cu abscisa determină frecvențele de rezonanță ale ansamblului rețea-filtre.

În cazul în care admitanța totală se anulează pentru o frecvență $f = Nf_1$, unde $f_1 = 50$ Hz, iar $N = 1, 2, 3 \ldots$, este necesar să se modifice parametrii C și L_s de așa manieră, încît frecvențele la care $Y(\omega) = 0$ să se deplaseze cu $\Delta f = \pm 10$ Hz față de frecvențele multipli întregi ai frecvenței fundamentale. Această modificare este posibilă prin:

— schimbarea capacității grupei de condensatoare legate direct la bare;
— montarea unor bobine de reactanță între sursa de armonici și filtre;
— instalarea unui filtru pe armonica respectivă.

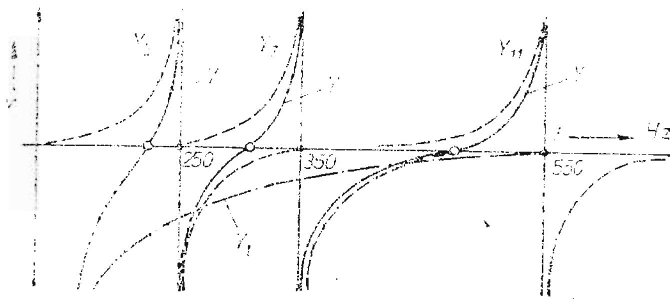


Fig. 7.8. Caracteristica de frecvență rezultantă.

7.5.3. ECHIPAMENTUL ELECTRIC AL FILTRELOR

Condensatoarele montate în filtrele conectate la barele de medie tensiune sînt legate în stea, nulul stelei fiind legat la pămînt.

Din considerente de izolație, bobina de reactanță a filtrului se va lega spre neutrul stelei condensatoarelor și se va proteja împotriva supratensiunilor prin descărcătoare.

În situațiile în care numai o parte a condensatoarelor este grupată în filtre, partea conectată direct la bare va servi la adaptarea puterii la necesarul reactiv variabil al consumatorului.

Acordarea filtrului pe armonica de rezonanță se va face cu ajutorul prizelor cu care sînt prevăzute bobinele de reactanță, în limitele de ±3%. Se recomandă o ușoară dezacordare a filtrului, în scopul reducerii curentului armonic absorbit. Bobinele de reactanță au și rolul de a reduce curenții la conectarea condensatoarelor.

Conectarea filtrelor se va face în ordine crescătoare a armonicilor pentru a se evita fenomene de rezonanță; deconectarea se va face în ordine inversă.

Aparatele de conectare și protecție sînt identice cu cele de la bateriile de condensatoare.

Aparatele de măsură prevăzute pentru filtre sînt:

— ampermetre pentru curentul total pe cele trei faze;
— ampermetru pentru fundamentală;
— ampermetru pentru armonica ν de acord;
— voltmetru cu comutator.

Capitolul 8
CIRCUITE SECUNDARE

Circuitele secundare cuprind ansamblul circuitelor de comandă, măsură, semnalizare, blocaj, protecție, automatizare și telemecanizare, aparținînd instalațiilor electrice. Ele cuprind atît echipamentele, cît și circuitele aferente acestora, în curent continuu și alternativ.

8.1. MĂSURĂTORI ELECTRICE ÎN INSTALAȚIILE DE DISTRIBUȚIE

În tabelul 3.3 se indică mărimile electrice care se măsoară pe diverse circuite, precum și numărul minim și tipul aparatelor ce trebuie montate.

Măsurarea intensității curentului se face de regulă pe o singură fază; în circuitele care pot funcționa timp îndelungat cu sarcini inegale pe faze (cazul LEA de înaltă tensiune sau a liniilor de alimentare a consumatorilor cu sarcini mari monofazate) măsurarea intensității curentului se face pe toate fazele.

Tensiunea se măsoară pe fiecare fază și între faze; pentru controlul izolației, în rețelele cu neutrul izolat, se măsoară tensiunea între fiecare fază și pămînt cu un grup de trei voltmetre.

În cazul în care este necesară urmărirea graficelor de sarcină pe anumite circuite, se vor prevedea wattmetre și varmetre înregistratoare.

Instrumentele electrice de măsurat, indicatoare și înregistratoare sînt de tipul *de panou* și trebuie să îndeplinească următoarele condiții.

a) Să respecte clasa de precizie impusă de scopul măsurătorii și mărimea de măsurat, astfel:

— instrumentele folosite la tablourile de comandă vor avea cel puțin clasa de precizie 2,5;

— instrumentele care se conectează prin transformatoare de măsură sau cu șunturi sau rezistențe adiționale, trebuie să aibă cel puțin clasa de precizie indicată în tabelul 8.1;

— contoarele de decontare a energiei active consumate vor fi de clasa 1, iar a energiei reactive — cel puțin de clasa 2,5;

— contoarele de control de energie activă vor fi cel puțin de clasa de precizie 2.

b) Limita superioară de măsurare a instrumentelor de măsurat și transformatoarelor de măsură va trebui să corespundă în scara standardizată

Clasele de precizie ale aparatelor de măsură, transformatoarelor și șunturilor sau rezistențelor adiționale

Clasa de precizie a instrumentului	Clasa de precizie a transformatoarelor	Clasa de precizie a șunturilor sau rezistențelor adiționale
1,0	0,5	0,5
1,5	0,5	0,5
2,5	1,0	0,5

cel puțin treptei egale cu 1,2 V_n, V_n fiind valoarea nominală a mărimii ce trebuie măsurată.

c) Transformatoarele de măsură să fie încărcate numai în limitele indicate de fabricile producătoare, pentru a nu ieși din clasa de precizie.

d) Să se respecte condițiile tehnice și climatice indicate în standarde sau în norme în locurile de instalare ale aparatelor de măsurat.

8.2. CIRCUITE DE COMANDĂ ȘI CONTROL

Circuitele de comandă sînt circuitele care servesc la acționarea voită, de la fața locului sau de la distanță, a diverselor mecanisme aparținînd aparatelor de conectare și de reglaj.

Circuitele de control sînt circuitele care deservesc instalațiile de protecție prin relee, automatizare, măsurare, semnalizare și blocaj.

Volumul circuitelor de mai sus depinde de modul de exploatare preconizat pentru aceste instalații: stații cu personal permanent, cu personal semipermanent sau stații fără personal local (telemecanizate sau telealarmate).

Circuitele de comandă asigură comanda manuală sau automată a întreruptoarelor și separatoarelor, precum și informarea prin semnal diferențiat a comutărilor care au loc în urma unei comenzi voite.

Circuitele de control cuprind: circuitele de măsurare, circuitele de semnalizare și instalațiile de blocaj.

După locul unde are loc, semnalizarea poate fi:

— la aparatul deservit — semnalizare optică;
— în camerele de comandă — semnalizare optică și acustică;
— în punctele de supraveghere — semnalizare optică și acustică;
— în zonele de deservire ale instalației — semnalizare acustică.

După funcția pe care o îndeplinesc, semnalizările pot fi:

— de poziție, anclanșat (culoarea roșie) sau declanșat (culoarea verde sau alb);

— de avarie, anunțînd optic și acustic declanșarea automată de avarie a aparatelor de comutare de către sistemul de protecții prin relee; semnalul acustic (hupă) este comun pentru toată camera de comandă, iar semnalul optic este individual pentru a se putea identifica elementul avariat;

— preventive, care avertizează optic și acustic personalul de exploatare asupra apariției unor regimuri anormale de funcționare; semnalul

acustic este unic pentru toată camera de comandă, dar diferențiat de semnalul acustic de avarie; semnalul optic este individual și de obicei diferențiat funcție de natura defectului.

Instalațiile de blocaj se efectuează în circuitele elementelor de execuție și în circuitele de comandă.

Blocajele pot fi: *operative*, realizate pentru evitarea manevrelor greșite; *de siguranță*, pentru a preîntîmpina abateri de la normele NPM; *tehnologice*, pentru respectarea funcționării echipamentelor.

8.3. DISPOZITIVE PENTRU PROTECȚIA SELECTIVĂ RAPIDĂ A INSTALAȚIILOR DE MEDIE TENSIUNE [10]

Rețelele de distribuție uzinale de medie tensiune prezintă o tendință de extindere tot mai mare, ca o consecință a creșterii puterilor instalate și a complexității consumatorilor uzinali, care reprezintă adesea adevărate platforme industriale. În figura 8.1 sînt reprezentate două dintre cele mai simple și frecvente scheme de distribuție uzinale de medie tensiune.

Pentru asigurarea selectivității protecției la supracurenți, timpii de reglaj ai protecțiilor maximale temporizate cresc din aval spre amonte. Dacă se apreciază timpul de selectivitate pentru fiecare etaj de protecție la minimum 0,3 s, se constată că spre amontele distribuției se ajunge la timpi de eșalonare destul de mari (circa 1,5 s). Aceștia atrag după sine solicitări dinamice și îndeosebi termice exagerate asupra întregii instalații.

Reducerea acestor solicitări și prin aceasta mărirea duratei de viață a tuturor elementelor instalației de distribuție, determină creșterea siguranței în alimentarea consumatorilor respectivi.

În acest scop se poate utiliza un dispozitiv logic, de preferință cu elemente statice (viteză mare de lucru), care utilizînd informațiile furnizate de releele primare — maximale și direcționale să comande declanșarea întreruptoarelor apropiate de locul de defect. Ecuațiile logice în baza cărora se elaborează deciziile dispozitivului de protecție selectivă rapidă (DPSR) sînt fundamentate pe următoarele principii:

— supracurenții circulă prin diferitele laturi ale rețelei conform cuplajului stabilit într-o anumită situație și solicită o parte din releele maximale direcționale;

— curenții de scurtcircuit converg spre punctul de defect, ceea ce înseamnă că solicitarea releelor poate conduce sistemul logic la definirea punctului din rețea unde a avut loc scurtcircuitul;

— cînd localizarea defectului este realizată, DPSR generează semnale de declanșare numai pentru acele întreruptoare, care încadrează defectul.

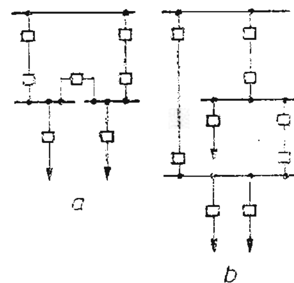


Fig. 8.1. Schemele instalațiilor de distribuție uzinale de medie tensiune:
a — cu două linii principale și bare simple secționate; b — cu linie principală buclată.

În continuare se prezintă sinteza unui DPSR pentru rețeaua cu două linii principale și bare

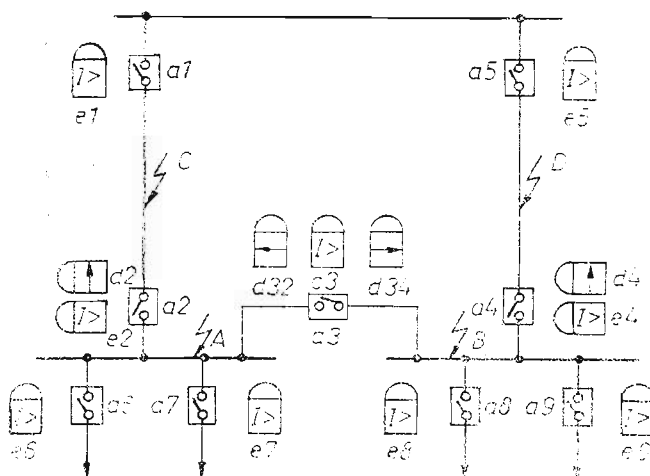


Fig. 8.2. Schema monofilară a rețelei de distribuție uzinale, cu indicarea releelor de protecție și a punctelor de scurtcircuit considerate.

simple secționate (fig. 8.1, *a*). În figura 8.2 este reprezentată schema electrică monofilară a rețelei indicîndu-se întreruptoarele și releele primare de protecție (maximale de curent și direcționale de putere). Sînt indicate prin simbolul caracteristic punctele posibile de scurtcircuit; acestea sînt notate prin majusculele *A*, *B*, *C* și *D*. Pentru simplificare, s-au reprezentat numai cîte două plecări de pe fiecare secțiune de bare simple.

În continuare se deduc ecuațiile logice ale comenzilor de declanșare pentru întreruptoarele automate din schemă, analizînd corelațiile dintre locul de defect, informațiile furnizate de releele primare și măsurile de izolare ale locului de defect. Contactele *ND* ale releelor direcționale se închid pentru circulația curenților în sensul săgeților figurate pe figura 8.2.

Astfel, pentru un defect în punctul *A*, luînd în considerare cele două situații de distribuție posibile, se stabilesc următoarele.

1. Întreruptoarele *a1* și *a2* sînt închise iar *a3* — închis sau deschis; curentul de scurtcircuit trece prin *a2* și nu trece prin *a3*, *a6* și *a7*. Releul maximal *e2* se excită, în timp ce releele maximale *e3*, *e6* și *e7* nu sînt excitate. Releul direcțional *d2* nu este acționat, iar starea celorlalte relee direcționale nu contează din moment ce *e3* = 0 (neacționat). Expresia logică a acestei situații este (pentru ușurarea înțelegerii, numărul de ordine al echipamentului se scrie în relații la indice)

$$f(A_1) = e_2\bar{e}_3\bar{e}_6\bar{e}_7\bar{d}_2. \tag{8.1}$$

2. Întreruptorul *a2* este deschis, alimentarea realizîndu-se prin intreruptorul de cuplă *a3*. În acest caz releele *e3* și *d32* vor fi acționate, iar releele *e2*, *e6*, *e7* și *d2* nu vor fi acționate. Transpunerea logică a situației este

$$f(A_2) = \bar{e}_2e_3\bar{e}_6\bar{e}_7d_{32}. \tag{8.2}$$

3. Sînt închise întreruptoarele *a2*, *a3* și *a4*, alimentarea punctului de scurtcircuit realizîndu-se pe două căi. Analizînd starea releelor primare, se poate transcrie situația în limbajul algebrei binare:

$$f(A_3) = e_2e_3\bar{e}_6\bar{e}_7d_2\bar{d}_{32}. \tag{8.3}$$

Defectul în punctul A poate avea loc în oricare din situațiile analizate. De aceea, funcțiile parțiale definite prin relațiile (8.1) ... (8.3) trebuie reunite prin operatorul SAU, pentru a avea ecuația logică definind un scurtcircuit în punctul A :

$$f(A) = f(A_1) + f(A_2) + f(A_3), \tag{8.4}$$

în care înlocuind expresiile funcțiilor parțiale se obține

$$f(A) = (\bar{e}_2 e_3 \bar{d}_2 + \bar{e}_2 e_3 d_{32} + e_2 e_3 d_2 \bar{d}_{32}) \bar{e}_6 \bar{e}_7. \tag{8.5}$$

Pentru un defect în punctul B (simetric punctului A), ecuația logică definind scurtcircuitul în acest punct al rețelei se deduce similar :

$$f(B) = (\bar{e}_3 e_4 \bar{d}_4 + \bar{e}_3 e_4 d_{34} + e_3 e_4 d_{34} \bar{d}_4) \bar{e}_8 \bar{e}_9. \tag{8.6}$$

Un defect în punctul C se manifestă prin aceea că curentul de scurtcircuit trece prin *a1* și nu-l parcurge pe *a2* sau invers trece prin *a2* fără a ieși prin *a1*. Rezultă expresia

$$f(C) = e_1 \bar{e}_2 + e_2 d_2. \tag{8.7}$$

Defectul în punctul D este simetric cu cel în punctul C, deci se poate scrie direct

$$f(D) = \bar{e}_4 e_5 + e_4 \bar{d}_4. \tag{8.8}$$

După stabilirea expresiilor logice care permit dispozitivului de protecție DPSR să localizeze rapid defectul din rețea, urmează a se determina funcțiile de declanșare ale întreruptoarelor, care au un rol de a izola defectul din rețea. Aceste funcții vor fi numite funcții fundamentale de declanșare ale întreruptoarelor, deoarece acestea trebuie să se realizeze în prima etapă de eliminare a defectului. În tabelul 8.2 sînt indicate întreruptoarele care trebuie să acționeze în funcție de locul defectului.

Tabelul 8.2

Corespondența dintre locul de defect și întreruptoarele care declanșează în etapa fundamentală

Locul de defect	Funcția logică	Întreruptoarele care trebuie să declanșeze în etapa fundamentală
A	$f(A)$	a_2 și a_3
B	$f(B)$	a_3 și a_4
C	$f(C)$	a_1 și a_2
D	$f(D)$	a_4 și a

În baza corespondențelor stabilite în tabelul 8.2, rezultă pentru funcțiile fundamentale de declanșare următoarele expresii

$$\begin{aligned} f(a_1) &= f(C) ; \\ f(a_2) &= f(A) + f(C) \\ f(a_3) &= f(A) + f(B) ; \\ f(a_4) &= f(B) + f(D) ; \\ f(a_5) &= f(D). \end{aligned} \tag{8.9}$$

Este evident că funcțiile fundamentale de declanșare ale întreruptoarelor liniilor radiale (fiderilor) sînt dependente numai de variabilele reprezentate de releele maximale corespunzătoare:

$$f(a_6) = e_6\,; \quad f(a_7) = e_7\,; \quad f(a_8) = e_8\,; \quad f(a_9) = e_9. \tag{8.10}$$

Pentru cazul în care o defecțiune oarecare împiedică executarea declanșării fundamentale, este necesar să se asigure o rezervă de declanșare prin treptele din amonte. Aceasta se realizează prin introducerea unor funcții de declanșare de rezervă în baza principiului următor: un întreruptor declanșează ca rezervă a unui alt întreruptor, dacă acesta din urmă primind o comandă de declanșare nu a executat-o în intervalul de timp Δt. Întîrzierea Δt trebuie astfel aleasă, încît să depășească cu cîteva milisecunde suma constantelor de timp proprii releelor de ieșire a DPSR și întreruptoarelor.

Funcțiile de declanșare de rezervă se pot scrie sub forma generală

$$f'(a_i) = a_i f(a_j, \Delta t), \tag{8.11}$$

în care a_i este întreruptorul din amonte de întreruptorul a_j.

În tabelul 8.3 este indicată corespondența întreruptoarelor care trebuie să declanșeze ca rezervă a altora, pentru rețeaua din figura 8.2.

Tabelul 8.3

Corespondența întreruptoarelor care declanșează ca rezervă

Declanșare fundamentală	Declanșare de rezervă
a_2	a_1 și a_3
a_3	a_3 și a_4
a_4	a_3 și a_5
a_6 sau a_7	a_3 și a_3
a_8 sau a_9	a_3 și a_4

Conform scrierii preconizate prin relația (8.11), funcțiile de declanșare de rezervă sînt:

$$\begin{gathered} f'(a_1) = a_2 f(\Delta t)\,; \\ f'(a_2) = a_3 f(a_3,\Delta t) + a_6 f(a_6,\Delta t) + a_7 f(a_7,\Delta t)\,; \\ f'(a_3) = a_2 f(a_2,\Delta t) + a_4 f(a_4,\Delta t) + a_6 f(a_6,\Delta t) + \\ + a_7 f({}_7a,\Delta t) + a_8 f(a_8\Delta t) + a_9 f(a_9,\Delta t)\,; \\ f'(a_4) = a_3 f(a_3,\Delta t) + a_8 f_8(a,\Delta t) + a_9 f(a_9,\Delta t)\,; \\ f'(a_5) = a_4 f(a_4,\Delta t). \end{gathered} \tag{8.12}$$

Funcțiile totale de declanșare reunesc logic condițiile de declanșare fundamentale și de rezervă

$$F(a_1) = f(a_1) + f'(a_1), \tag{8.13}$$

pentru restul întreruptoarelor scriindu-se similar.

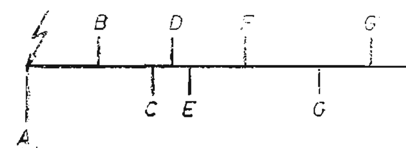


Fig. 8.3. Succesiunea și ordinul de mărime pentru constantele de timp care intervin într-o secvență de declanșare de protecție.

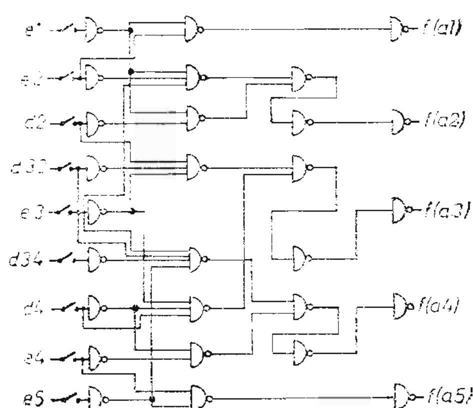


Fig. 8.4. Schema logică a dispozitivului de protecție selectivă rapidă (funcțiile de declanșare fundamentală), realizat cu elemente NICI.

Pentru cazul defectării complete a dispozitivului logic (dispariția tensiunii sale de alimentare) se poate prevedea o ultimă rezervă de declanșare. Aceasta poate fi constituită din protecția maximală temporizată instalată în substația principală din amontele distribuției.

Funcționarea sistemului necesitînd crearea funcțiilor de localizare a defectelor $f(A), \ldots, f(D)$, sistemul de protecție poate fi completat cu semnalizarea locurilor de defect.

Prin utilizarea DPSR este eliminat dezavantajul sistemului temporizării crescătoare spre surse, constînd în durata mai mare a defectelor mai apropiate de surse (cele mai solicitante). Chiar dacă există mai multe etaje de distribuție pe o linie, DPSR izolează locul de defect într-un timp de circa 150 ms la o declanșare fundamentală și de 250 ms la o declanșare de rezervă, pentru oricare dintre etaje.

În figura 8.3 se prezintă succesiunea și ordinul de mărire pentru constantele de timp care intervin într-o secvență. Semnificațiile și valorile segmentelor reprezentate sînt :

AB	—	timpul propriu al releelor de protecție	20 ... 50 ms ;
BC	—	timpul necesar eliminării hazardului	30 ms ;
CD	—	timpul de localizare a defectelor	1 ms ;
DE	—	timpul de elaborare a comenzilor de declanșare	1 ms ;
EF	—	constanta de timp a releelor intermediare	18 ... 28 ms ;
FG	—	timpul propriu de deschidere a întreruptoarelor	50 ms ;
AG	—	timpul total pentru declanșarea fundamentală 210 ... 160	ms ;
GG'	—	temporizarea etajului de declanșare de rezervă	90 ms ;
AG'	—	timpul total pentru declanșarea de rezervă	210 ... 250 ms ;

Pentru realizarea dispozitivului de protecție selectivă rapidă se stabilește mai întîi tipul elementelor componente (module USILOG, circuite integrate etc.) și apoi se transcriu ecuațiile logice (8.12) și (8.13) în operatorii specifici (NICI, ȘI-NU, ȘI-SAU-NU).

Schema logică a blocului realizînd declanșarea fundamentală, realizat cu elementele logice de tipul NICI, este prezentată în figura 8.4.

8.4. INSTALAŢII PENTRU TELECOMUNICAŢII UZINALE

Desfăşurarea normală a activităţii în întreprinderile industriale impune existenţa unor instalaţii electrice speciale care să asigure comunicarea în interiorul incintelor şi în afara lor, difuzarea programelor locale sau centrale de radio şi televiziune, urmărirea orei exacte etc. Instalaţiile de telecomunicaţii din clădirile industriale pot fi de telefonie, dispecerat, interfon, telegraf sau telex, radio, căutarea persoanelor, ceasoficare şi semnalizarea incendiilor.

La proiectarea instalaţiilor electrice, se va ţine seama că încăperile destinate echipamentelor de telecomunicaţii sînt încăperi periculoase din punct de vedere al pericolului de electrocutare, iar din punct de vedere al pericolului de incendiu, se încadrează în categoria *E*, cu excepţia încăperilor pentru bateriile de acumulatoare care pot fi de categoria *A*, dacă nu se asigură o ventilare corespunzătoare.

În încăperile în care sînt montate echipamentele de telecomunicaţii se vor prevedea minim cîte două prize de 24 V pentru lămpi portative şi 1—2 prize bipolare cu contact de protecţie pentru unelte portabile alimentate la tensiunea de 220 V. Iluminatul încăperilor se va face cu lămpi fluorescente, asigurîndu-se un nivel minim de iluminare de 220 lx.

Bateriile de acumulatoare se pot instala în dulapuri tipizate amplasate pe coridoare, holuri etc. asigurîndu-se posibilităţi de aerisire naturală a dulapului. Dacă se prevăd săli speciale pentru acumulatoare, acestea se vor utiliza în comun pentru bateriile mai multor categorii de instalaţii, inclusiv pentru bateriile iluminatului de siguranţă. Sălile se vor amplasa în aceeaşi clădire, cît mai aproape de spaţiile destinate echipamentului pe care îl alimentează şi vor avea ventilaţie naturală, realizată printr-un coş de zidărie sau elemente prefabricate cu o secţiune minimă de 0,12 m². Se interzice instalarea bateriilor de acumulatoare în subsoluri inundabile sau sub planşee străbătute de conducte care transportă fluide sau gaze sub presiune.

Instalaţiile interioare pentru telecomunicaţii uzinale se realizează de obicei în execuţie îngropată. Montajul aparent se admite numai în următoarele cazuri:

— în construcţiile care nu permit dăltuirea şi spargerea;

— în hale sau încăperi în care şi instalaţiile electrice sînt executate aparent;

— în cazul unor instalaţii provizorii.

Instalaţiile se realizează cu cabluri şi conducte izolate din cupru montate în tuburi de protecţie. Circuitele pentru instalaţiile de telefonie, dispecer, interfon şi ceasuri electrice se pot grupa în acelaşi tub sau cablu, fiind indicat a se utiliza trasee comune.

Între instalaţiile de curenţi slabi şi instalaţiile electrice interioare sau conducte calde, se va păstra o distanţă minimă de 25, respectiv 12 cm.

8.4.1. INSTALAŢII DE TELEFONIE

Instalaţia telefonică permite realizarea unor legături de comunicare rapide şi sigure, atît în interiorul întreprinderilor, cît şi în afara lor. În mod normal, întreprinderile sînt echipate cu centrale telefonice automat

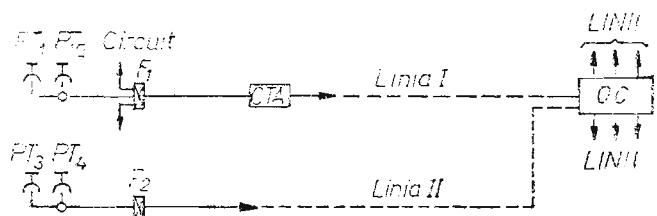


Fig. 8.5. Schema de principiu a unei instalații de telefonie.

(*CTA*), care se caracterizează prin durată și stabilitate mare în funcționare, cheltuieli de investiții și exploatare reduse, dimensiuni mici, consum redus, funcționare rapidă și posibilități de extindere. Numărul de posturi este variabil, avînd în vedere că se vor prevedea: cel puțin un post în birourile obișnuite; 2 ÷ 3 posturi în birourile destinate personalului de conducere și secretariatelor; cîte posturi sînt necesare în birourile unde se desfășoară o activitate ce solicită legături telefonice multiple. În spațiile de producție, posturile se vor instala în spațiile rezervate personalului de conducere a proceselor tehnologice, eventual în cabine izolate fonic, dacă condițiile o cer.

Pentru instalarea unei centrale telefonice se prevăd de obicei trei încăperi:

— camera centralei telefonice, aflată în general la parter, pentru a ușura accesul cablurilor din exterior;

— camera operatoarei, adiacentă primei încăperi, pentru asigurarea legăturii verbale între operatoare și personalul de întreținere;

— camera bateriilor de acumulatoare (24—60 V), amplasată cît mai aproape de primele două și prevăzută cu ventilație naturală organizată sau cu ventilație mecanică separată de alte sisteme de ventilație; bateriile de acumulatoare vor avea o autonomie de funcționare de 6 ÷ 10 h pentru centrala telefonică și 10 ÷ 12 h pentru centrala de avertizare de incendiu.

Schema de principiu a unei instalații telefonice uzinale este dată în figura 8.5. Posturile telefonice PT_1 și PT_2 sînt conectate la centrala automată a întreprinderii (*CTA*) prin intermediul firidei F_1.

CTA este legată prin cablu exterior subteran, la centrala telefonică de oraș sau cartier (*OC*). Posturile telefonice PT_3 și PT_4 sînt conectate direct la *OC* prin intermediul firidei F_2.

Racordarea posturilor telefonice la rețea se face prin circuite individuale în tub comun, utilizîndu-se o schemă de distribuție radială.

8.4.2. INSTALAȚII DE TELEFONIE TEHNOLOGICĂ (DISPECER)

Instalațiile de dispecer asigură legături operative, independente, necesare procesului tehnologic, între organele de conducere tehnică și de exploatare în incinta întreprinderilor, cît și cu forurile de conducere tehnică din exterior, eventual cu puncte de dispecer din alte unități. Echipamentele folosite pot fi cu comutație manuală, semiautomată sau automată, alimentarea diverselor posturi fiind asigurată de baterii locale sau de la o baterie centrală.

Modul de organizare al rețelei de telefonie tehnologică este impus de numărul posturilor care trebuie instalate și de sistemul de centralizare a conducerii procesului tehnologic.

Centralele de dispecer au capacități de 20 ÷ 60 linii și sînt de două tipuri: de masă și de pupitru. Centralele mici tip pupitru (fără rame de relee și amplificatoare) nu necesită un spațiu anume, montîndu-se pe masa de lucru a dispecerului. Centralele cu rame de relee și amplificatoare se amplasează într-o încăpere separată, cît mai aproape de camera dispecerului, unde se va instala pupitrul de comandă sau în aceeași încăpere cu dispecerul, prevăzîndu-se în acest scop un spațiu de cca. 6 m².

Alimentarea centralei se face de la o baterie de acumulatoare (24—60 V) amplasată în aceeași încăpere cu bateria centralei telefonice sau într-o încăpere destinată special acestui scop.

8.4.3. INSTALAȚII DE INTERFON

Interfonul este compus dintr-un post principal și mai multe posturi secundare și se instalează pentru comunicări operative, dispoziții, conferințe și o mai bună coordonare a serviciului de dispecer. Instalația permite ca de la fiecare aparat să se efectueze convorbiri cu alt abonat, cu o parte sau cu toți abonații conectați la aparatul respectiv, fără intermediul postului principal.

Fiecare post principal sau secundar este prevăzut cu un aparat de masă echipat cu microfon dinamic și dispozitive de linii cu capacitatea de 1 ÷ ÷ 20 linii, o cutie de amplificare și conexiuni și un difuzor dinamic. Alimentarea se face de la rețeaua de 220 V prin intermediul unor redresoare la care sînt legate 5 ÷ 6 posturi de vorbire.

Redresorul de alimentare nu necesită o încăpere separată, el putînd fi montat pe perete în orice încăpere uscată, ferită de praf, umezeală și trepidații. Rețeaua folosită poate fi construită în sistem liniar, stea sau combinat, în funcție de amplasarea posturilor.

8.4.4. INSTALAȚIE PENTRU CĂUTAREA ȘI CHEMAREA PERSOANELOR

Instalația asigură căutarea și chemarea operativă a persoanelor cu responsabilitate în procesul de conducere tehnică și de exploatare al întreprinderii și care se află în încăperi tehnologice cu mult zgomot sau în hale de mari dimensiuni. Ea se compune dintr-o centrală de căutare și tablouri cu corpuri de semnalizare luminoasă și se utilizează în legătură cu centrala telefonică automată, putînd fi pusă în funcțiune de la orice post telefonic. Fiecărei persoane sau grupă de persoane căutată îi corespunde o anumită combinație de semnale luminoase (cifre, litere sau culori) din codul întocmit în acest scop.

8.4.5. INSTALAȚII RADIO

a) *Instalație de radioficare.* Instalația are drept scop transmiterea dispozițiilor și comunicărilor legate de conducerea tehnică și exploatarea întreprinderilor, a programelor cultural-educative proprii sau ale programelor radio, precum și căutarea persoanelor cu diferite responsabilități.

Echipamentul stațiilor de amplificare cu puteri mai mari de 150 W se amplasează într-o încăpere special destinată, cu o suprafață de 12 $\div$ 20 m² și o înălțime de 2,5 m. În cameră se va păstra o temperatură constantă de +20 °C, iar iluminatul va fi cu surse incandescente. Pentru stații cu puteri sub 150 W se va asigura o încăpere cu o suprafață de 9 m², iar dacă aceasta nu este posibil, ele se vor amplasa în încăperi liniștite cu alte destinații.

Distribuția interioară se face după scheme radiale sau arborescente, cu circuite bifilare alimentînd 20 ... 30 difuzoare pe zone distincte (figura 8.6).

Circuitele de radioficare se vor instala numai în tuburi sau cabluri separate, montate la o distanță minimă de 20 cm față de alte circuite de curenți slabi. În cazuri justificate, instalațiile montate în tuburi legate la pămînt se pot monta la:

— 5 cm, cînd lungimea de paralelism este mai mică de 50 m;
— 3 cm, cînd lungimea este sub 30 m;
— 2 cm, pentru o distanță sub 10 m.

Dimensionarea circuitelor de radioficare se va face astfel încît atenuarea la ultimul difuzor să fie de maxim 4 dB.

b) *Instalație de radiotelefonie.* Acest tip de instalație constă în utilizarea radiotelefoanelor și constituie mijlocul cel mai eficient de mărire a operativității în transmiterea comunicațiilor pe șantiere, întreprinderi forestiere, precum și în întreprinderile avînd o mare suprafață sau hale de mari dimensiuni cu degajări de praf sau fum. Se utilizează următoarele tipuri de stații:

— stații fixe, alimentate de la rețeaua de curent alternativ și de greutăți care nu depășesc 50 kg;

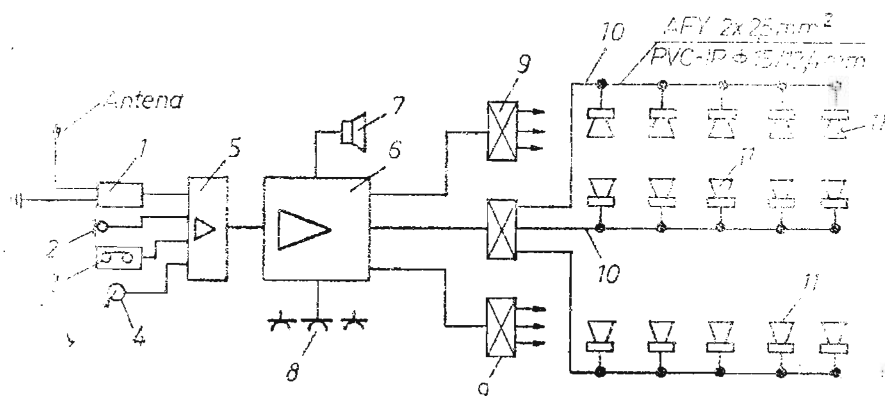


Fig. 8.6. Schema de principiu a unei instalații de radioficare:
1 — radioreceptor; *2* — microfon; *3* — magnetofon; *4* — pick-up; *5* — preamplificator de mixaj; *6* — amplificator de putere; *7* — difuzor de control; *8* — prize de alimentare de 220 V c.a.; *9* — firide de concentrare; *10* — linii de distribuție; *11* — difuzoare.

— stații mobile, alimentate în curent continuu și avînd o greutate de 5 ÷ 20 kg — se instalează pe diferite vehicule sau instalații;

— stații portabile cu o greutate de maxim 2 kg.

Distanța maximă de convorbire între două stații depinde de tipul stațiilor, amplasamentul lor și configurația terenului. Ca urmare se vor putea stabili legături la 50 ÷ 70 km între două stații fixe, 15 ÷ 40 între o stație fixă și una mobilă și 0,5 ÷ 5 km între stații portabile.

Serviciile de radiotelefonie mobilă lucrează pe frecvențe de 25 ÷ 470 MHz și utilizează trei tipuri de legături radio:

— sistemul *simplex* permite stabilirea unei comunicații radio între două stații lucrînd pe aceeași frecvență și este sistemul cel mai utilizat în radiotelefonie;

— sistemul *duplex* cuprinde două stații care lucrează pe canale separate și se utilizează în cazul în care rețeaua de radiotelefonie trebuie conectată la rețeaua telefonică;

— sistemul *semiduplex* utilizează o frecvență pentru emisie și alta pentru recepție, evitîndu-se astfel interferențele în zonele cu multe radiotelefoane.

8.4.6. INSTALAȚII DE CEASOFICARE

Instalațiile de ceasuri electrice au rolul de a indica ora exactă în cadrul întreprinderilor și pot asigura și pontajul muncitorilor cu ajutorul ceasurilor de pontaj.

Ele se realizează după scheme radiale sau arborescente, ceasurile electrice putînd fi legate în serie sau paralel, în funcție de tipul centralelor folosite.

O instalație (fig. 8.7) se compune dintr-un ceas principal *1*, care transmite prin intermediul centralei *2*, impulsuri electrice de comandă la ceasurile secundare *3*. Legătura între ceasuri este asigurată de rețeaua de ceasoficare *4*. Centrala de ceasuri se alimentează de la o sursă de curent continuu, care poate fi bateria de acumulatoare *5* sau redresorul *6*. Alimentarea permanentă cu energie electrică este asigurată de sistemul de comutare automată *7*.

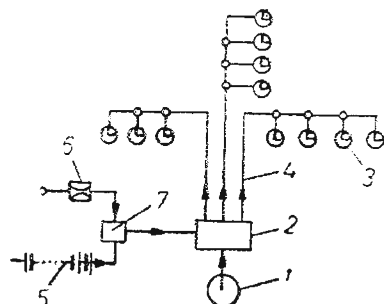


Fig. 8.7. Schema de principiu a unei instalații de ceasoficare.

Capacitatea instalației de ceasuri se stabilește în funcție de numărul locurilor de muncă cu deservire permanentă care necesită cunoașterea orei exacte, numărul locurilor de trecere frecventă a personalului, numărul locurilor de interes comun din întreprindere și numărul de muncitori pe schimb (pentru ceasuri de pontaj).

Centrala de ceasuri electrice se poate instala în camera operatoarei centralei telefonice, în camera stației de radioficare sau într-o încăpere separată cu suprafața de 4,5 ÷ 10 m². Ceasurile secundare se montează în interior sau în exterior pe

suporți proprii sau pe elemente de construcții, iar rețeaua de ceasoficare se execută cu 2 conductoare Fy 1,5 montat în tuburi de protecție PVC — IP 16/13,4.

8.4.7. INSTALAȚII PENTRU SEMNALIZAREA INCENDIILOR

Instalațiile pentru semnalizarea incendiilor se prevăd în următoarele cazuri :

— în întreprinderi industriale, în care secțiile de categoria A, B și C cu pericol de incendiu au caracter predominant ca număr, suprafață sau importanță, dacă suma ariei construite a clădirilor din incinta industrială (inclusiv clădiri social administrative și depozite închise sau deschise sub șoproane) este mai mare de 20 000 m² ;

— în clădiri industriale blindate de categoriile A, B și C cu pericol de incendiu, indiferent de aria construită ;

— în clădiri industriale cu înălțimea mai mare de 45 m, indiferent de aria construită, în care se află aparate sau utilaje de valoare ;

— în spațiile de parcare sau garare care adăpostesc mai mult de 50 autovehicule.

În întreprinderile industriale se utilizează în general, trei sisteme de avertizare a incendiilor : sistemul manual, sistemul automat de temperatură, sistemul automat de fum și flacără.

Echipamentul unei instalații electrice de avertizare a incendiilor se compune dintr-o centrală de avertizare, detectoare (avertizoare) manuale sau automate, aparate de alarmă (acustice și optice), surse de curent etc. (fig. 8.8).

Centralele de avertizare pot fi de trei tipuri :

— centrală comună pentru avertizoare manuale și automate de temperatură și fum ;

— centrală comună pentru avertizoare manuale și automate de temperatură ;

— centrală numai pentru avertizoare de fum.

În prezent, pentru semnalizarea incendiilor se fabrică centrala universală de alarmare (CUA) echipată cu un modul de serviciu pentru centra-

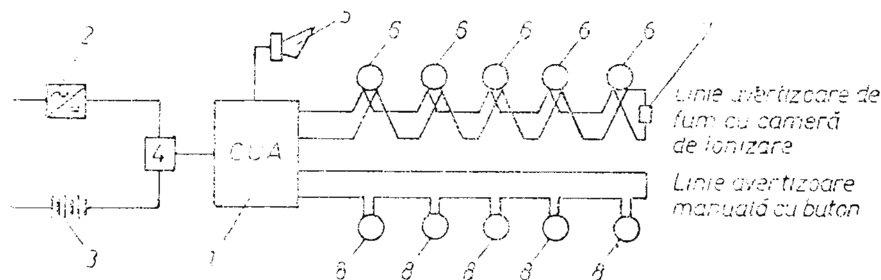


Fig. 8.8. Schema de principiu a unei instalații de semnalizare a incendiilor :

1 — centrala universală de alarmare ; 2 — redresor ; 3 — baterie de acumulatoare ; 4 — dispozitiv de comutare automată ; 5 — hupa de alarmare ; 6 — avertizoare automate de fum ; 7 — rezistență terminală ; 8 — avertizoare manuale.

lizarea informațiilor și 1 ... 10 module de linii a cîte 10 linii fiecare. Ea asigură următoarele funcții:

— alarmarea acționării avertizoarelor;

— alarmarea întreruperii liniei de legătură între centrală și avertizoare;

— alarmarea punerii la masă a liniei;

— alarmarea lipsei de alimentare cu energie electrică de la baterie sau redresor;

— măsurarea tensiunii sursei de alimentare și a tensiunii de linie;

— verificarea prin testare a funcționării.

Avertizoarele manuale se acționează prin apăsarea unui buton de personalul care a detectat incendiul, asigurîndu-se astfel intrarea în funcțiune a centralei de avertizare. Avertizoarele automate acționează pe baza detectării elementelor care însoțesc declanșarea unui incendiu: creșterea temperaturii, apariția gazelor de ardere, fumului și flăcării.

Detectorul bazat pe creșterea temperaturii este eficace în încăperi de dimensiuni reduse sau în care nu există mișcări ale aerului și cuprinde un bimetal care se deformează atunci cînd temperatura mediului crește, provocînd deschiderea unui contact din circuitul de comandă.

Detectoarele care sesizează apariția gazelor de ardere sau a fumului sînt de tip ionic și își modifică rezistența electrică la apariția elementelor amintite. Ele sînt eficace în special în zonele unde, în condiții normale, atmosfera nu este viciată.

Detectorul bazat pe apariția flăcării sesizează variația spectrului luminos din zona în care sînt instalate. Ele sînt desensibilizate la variațiile de lumină datorate spectrului luminos normal și reglate să acționeze la spectrul luminos al flăcării deschise. Eficiența lor este maximă în locuri în care nivelul de iluminare normal este redus (subsoluri, tuneluri sau canale etc.).

În general se utilizează un sistem combinat de detectare sau detectoare care sesizează cel puțin două din elementele amintite.

Avertizoarele automate se amplasează, în principiu, în partea cea mai de sus a încăperii. Înălțimea maximă de montare nu va depăși 6 m pentru avertizoarele termice și 10 m pentru cele de fum. Timpii de sesizare sînt 0,5 ... 3 secunde pentru cele de flacără, 5 ... 10 secunde pentru cele de fum cu cameră de ionizare și mai puțin ce un minut pentru avertizoarele termice.

Centrala de avertizare înregistrează locul unde s-a produs incendiul și alarmează presonalul. De asemenea, ea poate pune în funcțiune instalațiile automate de stins incendiul (dacă acestea există) sau alarma cel mai apropiat post de pompieri (prin dictafoane sau benzi magnetice cu declanșare automată).

Instalațiile pentru sesizarea incendiilor trebuie să fie sigure în funcționare și să aibă un timp minim de intrare în funcțiune. Bateria de acumulatoare este astfel dimensionată, încît să poată asigura alimentarea centralei timp de 24 ore.

Capitolul 9
INSTALAȚII DE PROTECȚIE ÎMPOTRIVA ELECTROCUTĂRII

9.1. GENERALITĂȚI

Dacă între două puncte ale corpului omenesc se aplică o diferență de potențial, prin corp trece un curent electric. Această trecere este însoțită de fenomene ale căror efecte se manifestă sub forme multiple și complexe și care se pot clasifica în electroșocuri și electrotraumatisme.

În pofida numeroaselor cercetări asupra efectelor fiziologice ale curentului electric este încă dificil de precizat limita la care acesta devine periculos, deoarece ea depinde de rezistența electrică a corpului omenesc, intensitatea și felul (continuu sau alternativ) curentului electric, frecvență (în cazul curentului alternativ), calea de trecere a curentului prin corp și durata de acțiune.

Electroșocurile reprezintă acțiunea curentului electric asupra sistemului nervos și mușchiular și pot avea diferite aspecte: contracții mușchiulare (la curenți de 10 ÷ 15 mA este împiedicat controlul voluntar al sistemului mușchiular), oprirea respirației (prin acțiunea curentului asupra centrilor nervoși ai respirației), fibrilația inimii, pierderea temporară a auzului și vocii, pierderea cunoștinței.

Electrotraumatismele constau în arsuri și metalizări ale pielii și se datoresc căldurii dezvoltate de arcul electric format la punctele de contact sau trecerii curentului electric.

Termenul de electrocutare denumește accidentul datorat trecerii curentului electric prin organism. Electrocutările se produc prin *atingeri directe* și *indirecte*.

Atingerile directe (fig. 9.1, *a*) reprezintă atingerea elementelor conductoare ale unei instalații electrice:

— aflate normal sub tensiune;

— scoase de sub tensiune, dar rămase încărcate cu sarcini electrice (datorită capacității de serviciu a liniilor) prin omiterea descărcării acestora după deconectare;

— scoase de sub tensiune, dar aflate sub o tensiune indusă pe cale electromagnetică sau electrostatică de alte instalații, prin omiterea legării la pămînt a elementelor deconectate (de obicei prin scurtcircuitoare de lucru pe linii).

Atingerile indirecte (fig. 9.1, *b*) reprezintă atingerea unui element conductiv care în mod normal nu este sub tensiune, dar care a intrat accidental sub tensiune datorită unui defect în instalația electrică (deteriorarea izolației etc.).

În cazul atingerii simultane a două puncte de pe sol (considerate la o distanță de 0,8 m) aflate la potențiale diferite ca urmare a scurgerii prin pămînt a unui curent normal (cazul prizelor de pămînt de exploatare)

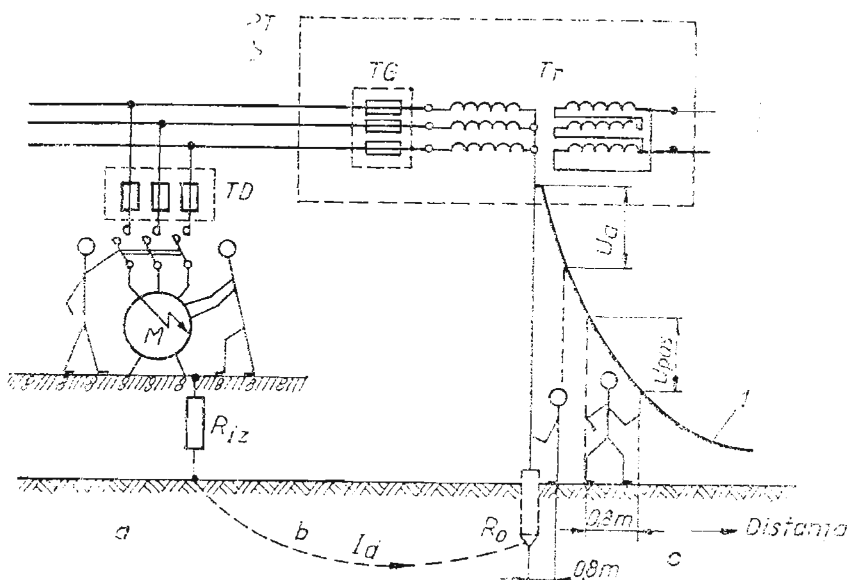


Fig. 9.1. Situațiile principale de apariție a electrocutărilor: *a* — atingere directă; *b* — atingere indirectă; *c* — tensiune de pas; *1* — curba distribuției potențialelor în jurul prize de pămînt.

sau în regim de avarie (fig. 9.1, *c*) omul este supus unei tensiuni numite tensiune de pas.

Trebuie remarcat, împotriva unei păreri destul de răspîndite, că nu tensiunea aplicată organismului este periculoasă, ci valoarea curentului care îl străbate, mai ales dacă traseul cuprinde și inima sau puncte de mare sensibilitate nervoasă.

În legătură cu figurile 9.1 și 9.2 se definesc:

— tensiunea de defect U_d — tensiunea accidentală a unei faze (conductor sau bornă) cu izolația defectă față de pămînt (sau față de o altă fază), la locul defectului;

— tensiunea instalației de legare la pămînt U_{ip} — tensiunea instalației de legare la pămînt față de un punct din zona de potențial nul;

— tensiunea prizei de pămînt U_p — tensiunea prizei de pămînt față de un punct din zona de potențial nul;

— tensiunea de atingere U_a — partea din tensiunea de defect sau din tensiunea unei instalații de legare la pămînt la care este supus omul aflat la o distanță de 0,8 m față de obiectul atins;

— tensiunea de pas U_{pas} — partea din tensiunea unei instalații de legare la pămînt la care este supus omul atunci cînd atinge două puncte de pe sol (pardoseală) situate la o distanță de 0,8 m între ele, în apropierea unui obiect racordat la instalația respectivă de legare la pămînt;

— curentul de defect I_d — curent electric apărut accidental în urma unui defect;

— curentul de punere la pămînt prin priză I_p — parte a curentului de defect care trece prin electrozii prizei de pămînt;

— curentul prin om I_h — curent care trece prin corpul omului supus unei tensiuni electrice;

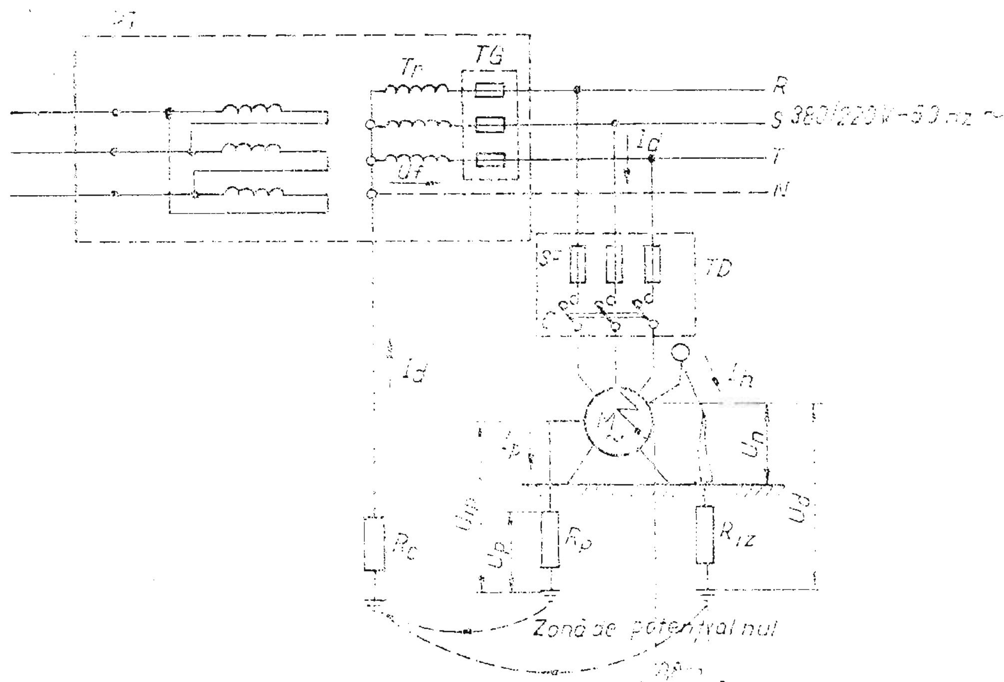


Fig. 9.2. Mărimi ce definesc electrocutarea.

— rezistența de dispersie a unei prize de pămînt R_p — mărime caracteristică pentru o priză de pămînt, reprezentînd raportul dintre tensiunea prizei de pămînt (U_p) și curentul de punere la pămînt prin priză (I_p);

— tensiunea omului U_h — tensiune care determină un anumit curent I_h prin corpul unui om avînd rezistența electrică R_h;

— coeficientul de atingere k_a și coeficientul de pas k_{pas} definiți de relațiile

$$k_a = \frac{U_a}{U_p}, \tag{9.1}$$

$$k_{pas} = \frac{U_{pas}}{U_p}, \tag{9.2}$$

semnificația mărimilor fiind cunoscută.

R_0 este rezistența de trecere la pămînt a instalației de legare la pămînt de exploatare.

9.2. VALORI MAXIM ADMISE ALE MĂRIMILOR ÎN INSTALAȚIILE DE PROTECȚIE ÎMPOTRIVA ELECTROCUTĂRII

Efectele fiziologice ale curentului care trece prin om depind de mai mulți factori. Lăsînd la o parte elementele care nu pot fi influențate (tensiune, frecvență) sau cele care nu pot fi prevăzute (factori de natură per-

sonală, circuitul curentului prin corp), gravitatea urmărilor unui accident este determinată de intensitatea curentului I_h care străbate corpul omenesc și de durata t a trecerii curentului prin corp.

Din motive practice însă, în tehnica securității la instalațiile electrice, se lucrează cu tensiunea omului U_h, fiind mult mai ușor să se conceapă și să se dimensioneze o protecție pe baza unei tensiuni care poate fi limitată în mod nemijlocit, decît pe baza curentului care nu poate fi influențat în mod direct pentru că depinde și de rezistența corpului omenesc.

9.2.1. VALORI MAXIM ADMISE ALE CURENTULUI PRIN OM

În calculele de protecție împotriva electrocutării prin atingere directă sau indirectă, se iau în considerație valorile maxim admise ale curentului prin corp la un timp de trecere mai mare de 3 secunde și rezistențele corpului omenesc indicate în tabelul 9.1.

Tabelul 9.1

Valorile curenților nepericuloși (la $t > 3s$) și a rezistențelor corpului omenesc [58]

Condiții	Curentul maxim admis, $I_{h\ adm}$, [mA]		Rezistența corpului omenesc R_h, [Ω]
	c.a.	c.c.	
Protecția împotriva electrocutării prin atingere directă	10	50	1 000
Protecția împotriva electrocutării prin atingere indirectă	10	50	3 000
Rezistența corpului omenesc neglijabilă față de impedanța sistemului	30	50	0

Notă : t este durata de trecere a curentului prin om.

9.2.2. VALORI MAXIM ADMISE PENTRU TENSIUNI DE LUCRU, TENSIUNI DE ATINGERE ȘI TENSIUNI DE PAS

Tensiunile de lucru se dau funcție de tipul echipamentului electric folosit și de categoria (din punct de vedere al pericolului de electrocutare) locului de muncă în care acesta se utilizează.

Se disting următoarele tipuri de echipamente :

— echipament (utilaj) fix, racordat fix la sursa de alimentare ;

— echipament (utilaj) mobil (transportabil), conectat la o sursă de alimentare printr-un racord mobil, schimbarea locului de funcționare a echipamentului efectuîndu-se numai cu scoaterea prealabilă de sub tensiune a acestuia și a racordului mobil ;

— echipament (utilaj) portabil, conectat la o sursă de tensiune printr-un racord mobil și care în timpul funcționării este purtat sau manipulat de una sau mai multe persoane.

Clasificarea locurilor de muncă din punct de vedere al pericolului de electrocutare este dată în tabelul 4.1.

Valorile maxim admise pentru tensiunile de lucru ale uneltelor electrice portabile, utilajelor mobile de sudare cu arc și corpurilor de iluminat sînt date în tabelele 9.2 și 9.3.

La restul echipamentelor, tensiunile de lucru nu sînt limitate, cu condiția respectării valorilor maxim admise ale tensiunilor de atingere și de pas, indicate în tabelele 9.4 și 9.5.

Tabelul 9.2

Valorile maxim admise pentru tensiunile de lucru ale utilajelor portabile sau mobile [32]

Categoria și tipul aparatelor, uneltelor sau utilajelor electrice	MEDIUL		Observații
	puțin periculos	periculos sau foarte periculos	
	Tensiuni de lucru maxim admise		
1	2	3	4
Aparate sau unelte electrice portabile	380 V (cel mult 250 V față de pămînt)	*a)* 380 V, dacă se aplică drept mijloc principal de protecție separarea de protecție sau izolarea suplimentară de protecție sau sînt îndeplinite simultan următoarele condiții: — aparatele sau uneltele respective sînt alimentate din rețele izolate față de pămînt; — aparatele sau uneltele respective sînt prevăzute cu protecție prin legare la pămînt care să limiteze tensiunile de atingere și de pas la valorile menționate în tab. 9.4; — rețeaua de alimentare este prevăzută cu un întreruptor de protecție care deconectează în maxim 0,2 s la apariția unui curent de defect de 30 mA.	— În subteran (și în alte locuri de muncă foarte periculoase) se interzice folosirea aparatelor și uneltelor electrice portabile alimentate la tensiunea de 380 V, valoarea acesteia fiind limitată la 127 V în condițiile prevăzute la punctul *b)* din tabel.
		b) 127 V, dacă sînt îndeplinite în același timp următoarele condiții: — aparatele sau uneltele respective sînt alimentate din rețele izolate față de pămînt; — aparatele sau uneltele respective sînt prevăzute cu o protecție prin legare la pămînt care să limiteze tensiunile de atingere și de pas la valorile menționate în tab. 9.4. — se aplică suplimentar, fie o izolație întărită, fie folosirea unor mijloace individuale de protecție, fie controlul permanent al rezistenței de izolație a rețelei de alimentare. *c)* 42 V, dacă aparatele sau uneltele sînt prevăzute cu izolație întărită. *d)* 24 V, dacă aparatele sau uneltele sînt prevăzute cu izolație normală de lucru.	— Se admite utilizarea aparatelor și uneltelor electrice portabile aflate în exploatare la data intrării în vigoare a prevederilor din STAS 2612—72, la tensiuni pînă la 380 V și la care mijlocul principal de protecție este legarea la nul sau la pămînt, cu condiția ca în timpul folosirii lor să se utilizeze suplimentar mijloace individuale de protecție electroizolante.

1		2	3	4
Utilaje mobile de sudare cu arc electric	Transformatoare de sudare	500 V pentru înfășurarea primară a transformatorului de sudare. 75 V pentru înfășurarea secundară, la funcționare în gol.	Transformatoarele de sudare folosite în locuri de muncă periculoase și foarte periculoase vor fi echipate suplimentar cu un dispozitiv de protecție pentru realizarea uneia din următoarele măsuri : — deconectarea de la rețea la întreruperea arcului electric ; — reducerea tensiunii de mers în gol la o valoare maximă de 24 V ; — alte măsuri care să asigure condiții nepericuloase pentru operator la atingerea accidentală a porțiunilor neizolate ale circuitului de sudare.	
	Generatoare și convertoare de sudare cu arc c.c.		110 V, la funcționare în gol, la suprafață ; 65 V, la funcționare în gol, în subteran.	

Tabelul 9.3

Valorile maxim admise pentru tensiunile de lucru ale corpurilor de iluminat [32]

MEDIUL		Observații
puțin periculos	periculos sau foarte periculos	
Tensiunea de lucru maxim admisă		
1	2	3
220 V	*a)* 220 V, pentru : 1. — corpuri fixe de iluminat amplasate în afara zonelor de manipulare. 2. — idem, cu lămpi incandescente, dacă intră în zona de manipulare, dar corpul de iluminat este prevăzut cu una din următoarele asigurări : — o blocare care să permită deschiderea corpului de iluminat numai cu scule speciale ; — o blocare care să permită deschiderea corpului de iluminat numai după scoaterea lui de sub tensiune ; — un dispozitiv de expulzare a lămpii la scoaterea globului de protecție sau la spargerea acestuia. 3. — corpuri fixe de iluminat cu lămpi fluorescente.	*1.* Corpurile de iluminat fixe cu tensiunea de lucru maximă de 220 V și care intră în zona de manipulare vor fi prevăzute cu protecție împotriva electrocutărilor prin atingerea indirectă. *2.* Corpurile din instalațiile pentru iluminatul de siguranță care se pun sub tensiune numai la întreruperea iluminatului normal, nu necesită asigurările impuse la punctul a2.

1	2	3
	b) 127 V, pentru corpurile de iluminat fixe și mobile cu incandescență, aflate în zona de manipulare, dacă racordarea lor se face la o rețea izolată față de pămînt și sînt prevăzute cu o protecție prin legare la pămînt care să limiteze tensiunile de atingere la valorile date în tabelul 9.4. *c)* 24 V, pentru : 1. — corpuri portabile și corpuri mobile sau fixe cu incandescență aflate în zona de manipulare în locurile periculoase ; 2. — corpuri fixe și mobile cu incandescență care se află în zona de manipulare, dacă corpul este în construcție închisă, cu protecție împotriva atingerilor accidentale, avînd un grad de protecție de cel puțin IP44, în locurile foarte periculoase. *d)* 12 V, în locurile foarte periculoase pentru corpurile portabile și pt. corpurile mobile și fixe cu incandescență care se află în zona de manipulare.	

Tabelul 9.4

Valorile maxim admise ale tensiunilor de atingere $U_{a\,adm}$ și de pas, $U_{p\,adm}$, în V, în instalații cu tensiuni nominale pînă la 1000 V [32]

Locul de utilizare	Categoria utilajelor	Mediul											
		puțin periculos				periculos				foarte periculos			
		Timpul de deconectare al protecției maximale											
		≤3 s		>3 s		≤3 s		>3 s		≤3 s		>3 s	
		c.c.	c.a.	c.c.	c.a.	c.c.	c.a.	c.c.	c.a.	c.c.	c.a.	c.c.	c.a.
La suprafață	fixe și mobile	110	65	65	40	110	65	65 (110)	40	65 (110)	40 (65)	65 (110)	40
	portabile	110	65	65	40	24	24	24	24	24	24	24	24
În subteran	toate	—	—	—	—	24	24	24	24	24	24	24	24

Observații. *1.* În toate cazurile se va prevedea o protecție maximală pentru deconectarea în caz de defect. Dacă nu există siguranța că aceasta va funcționa în toate condițiile de exploatare, se vor prevedea măsuri suplimentare de protecție.

2. În cazul aplicării legării la pămînt pentru protecția împotriva electrocutărilor prin atingere indirectă în locuri de muncă ,,periculoase'' și ,,foarte periculoase'' se vor considera valorile maxim admise date în paranteze.

La stîlpii liniilor electrice aeriene (LEA) fără aparataj, din zone cu circulație frecventă, indiferent de timpul de deconectare, tensiunea maximă de atingere și de pas va fi :

— 65 V, pentru rețele pînă la 1 000 V ;

Valorile maxim admise ale tensiunilor de atingere $U_{a\,adm}$ și de pas, $U_{p\,adm}$ în V, în instalații cu tensiuni nominale de 1 kV sau mai mari [64]

Categoria echipamentelor	Timpul de întrerupere a curentului prin priză [s]							
	≤0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8–3	≥3
Din zonă cu circulație frecventă	125	100	85	80	75	70	65	40
Din zonă cu circulație redusă	240	200	165	150	140	130	125	125
Din zonă cu circulație redusă, cu utilizarea mijloacelor individuale de protecție	500	400	330	300	280	260	250	250

Notă. În zone cu circulație frecventă din afara incintelor industriale (stații, posturi de transformare, centrale etc), pentru timpi mai mari de 3 s, tensiunile de atingere sau de pas maxim admise sînt 65 V.

— 125 V, pentru rețele peste 1 000 V, cu neutrul izolat față de pămînt sau legate la pămînt prin bobine de compensare;
— 250 V, pentru rețele peste 1 000 V, cu neutrul legat la pămînt;
— 125 V, pentru rețelele peste 1 000 V cu neutrul legat la pămînt, în incintele unităților industriale sau agricole, cu condiția folosirii unor izolatoare de calitate superioară la stîlpii respectivi.

9.3.2. VALORI MAXIM ADMISE ALE TENSIUNILOR INDUSE ÎN REȚELELE DE ENERGIE ELECTRICĂ DE JOASĂ TENSIUNE

Valorile maxim admise ale tensiunilor induse prin cuplaj inductiv datorită influenței unei linii de înaltă tensiune asupra unei linii de joasă tensiune sînt:
— 24 V, dacă linia de înaltă tensiune (inductoare) funcționează în regim normal, iar linia indusă este suspendată pe stîlpi metalici, de beton sau stîlpi de lemn șuntați prin elemente metalice (conductoare de coborîre, cabluri armate etc.);
— 60 V, dacă linia de înaltă tensiune funcționează în regim normal, iar linia indusă este suspendată pe stîlpi de lemn nešuntați, neancorați sau ancorați cu izolatoare;
— valorile din tabelul 9.6 dacă linia de înaltă tensiune este în regim de defect, iar linia indusă este suspendată pe stîlpi metalici, de beton armat sau stîlpi de lemn șuntați prin elemente metalice;
— 650 V, la un timp de deconectare mai mic sau egal cu 0,5 s și 430 V, la un timp de deconectare mai mare de 0,5 s, dacă linia de înaltă tensiune este în regim de defect, iar linia indusă este suspendată pe stîlpi de lemn nešuntați, neancorați sau cu ancore izolate;
— în orice condiții, valorile maxim admise ale tensiunilor rezultante U_r față de pămînt în rețelele de joasă tensiune supuse influențelor pericu-

Tabelul 9.6

Valorile maxim admise pentru tensiunile induse (U_i) în rețelele de joasă tensiune, funcție de regimul de defect din liniile de înaltă tensiune, în V [58]

Timpul de deconectare al protecției maximale [s]	≤0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	≥0,8
Tensiunea indusă [V]	250	200	165	150	140	135	125

joase, compuse din tensiunea nominală față de pămînt a rețelei U_f și din tensiunea indusă U_i prin cuplaj inductiv datorită rețelelor de înaltă tensiune ($U_r = U_f + U_i$), sînt cele din tabelul 9.7.

Tabelul 9.7

Tensiuni maxim admise față de pămînt în rețele de joasă tensiune supuse influențelor prin cuplaj inductiv [58]

Nr. crt.	Tipul rețelei	Regim normal U_r [V]	Regim de defect U_r [V]
1	Linii aeriene sau cabluri din rețele publice prevăzute cu transformatoare de separație	250	1 000
2	Idem, fără transformatoare de separație	250	500
3	Linii electrice aeriene sau cabluri pentru iluminatul exterior	250	1 000
4	Linii aeriene sau cabluri pentru uz industrial cu transformatoare de separație	400	1 000
5	Idem, fără transformatoare de separație	250	60% din tensiunea de încercare a izolației față de pămînt, dar nu mai mult de 1 000 V.
6	Conductoare de protecție fără tensiune de lucru	24	Valorile din tabelul 9.8

9.2.4. VALORILE MAXIM ADMISE ALE TENSIUNILOR INDUSE ÎN CONDUCTE PENTRU TRANSPORTUL FLUIDELOR SAU ALTE OBIECTE METALICE LUNGI

Valorile maxim admise ale tensiunilor induse prin cuplaj inductiv în conducte sau alte obiecte metalice lungi sînt :

— 24 V, dacă linia inductoare este în regim normal de funcționare ;
— valorile din tabelul 9.8 dacă linia inductoare este în regim de defect.

Tabelul 9.8

Valorile maxim admise ale tensiunilor induse în conducte pentru transportul fluidelor sau alte obiecte metalice lungi [58].

Conducte sau alte obiecte metalice	Timpul de deconectare al protecției maximale [s]							
	≤0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8...3	>3
	Tensiunile maxime admise [V]							
Ușor accesibile atingerii	125	100	85	80	75	70	65	40
Greu accesibile atingerii	250	200	165	150	140	130	125	125

Observații. *1.* Prin conducte sau alte obiecte ușor accesibile atingerii se înțeleg acelea care se află la o distanță mai mică sau egală cu 15 m față de drumuri, șosele sau îngrădirile locuințelor.

2. Prin conducte sau alte obiecte metalice lungi greu accesibile atingerii se înțeleg acelea care se află la distanțe mai mari de 15 m față de drumuri, șosele sau îngrădirile locuințelor.

9.3. DETERMINAREA CURENTULUI ELECTRIC CARE TRECE PRIN CORPUL OMULUI

Valoarea acestui curent este mult influențată de tipul rețelei la care este racordat elementul atins și de modul de protecție împotriva electrocutării prin atingere indirectă. Principalele cazuri de atingere directă (sau indirectă în lipsa unui sistem de protecție) sînt prezentate în tabelul 9.9. În cazul existenței unui sistem de protecție împotriva electrocutării prin atingere indirectă, modul de calcul al curentului prin om se indică în continuare pentru fiecare sistem în parte.

9.4. PROTECȚIA ÎMPOTRIVA ELECTROCUTĂRII

Pentru a evita accidentele prin electrocutare, în instalațiile electrice se iau o serie de măsuri care asigură:

— reducerea duratei de trecere a curentului prin corpul omului, prin prevederea de dispozitive care să deconecteze rapid (sub 3 secunde) rețeaua sau instalația defectă;

— reducerea tensiunilor de atingere și de pas la valorile maxim admise;

— mărirea impedanței echivalente a omului.

Procedeele amintite se pot aplica separat sau concomitent, pentru îmbunătățirea acțiunii de protecție.

Tabelul 9.9

Determinarea curentului prin om I_h, în diferite cazuri de atingeri directe

Nr. crt.	Tipul rețelei	Felul atingerii	Schema	Curentul prin om I_h, [A]	Observații
0	1	2	3	4	5
1	Rețea bifazată izolată față de pămînt	Atingerea simultană a fazelor		$I_h = \frac{U}{R_h}$	
		Atingerea unei faze		$I_h = \frac{U \cdot r_1}{R_h(r_1 + r_2) + r_1 r_2}$ $I_h = \frac{U}{2R_h + r}$ $I_h = \frac{U\omega C}{\sqrt{1 + 4R_h^2\omega^2C^2}}$	*a)* în rețele de joasă tensiune — caz general — pentru $r_1 = r_2 = r$ *b)* în rețele de înaltă tensiune cu $C_1 = C_2 = C$
2	Rețea trifazată izolată față de pămînt	Atingerea simultană a două faze		$I_h = \frac{U}{R_h}$	

Tabelul 9.9 (continuare)

0	1	2	3	4	5
2	Rețea trifazată izolată față de pămînt	Atingerea unei faze		$I_h = \frac{U}{\sqrt{3}R_r} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{r(r+6R_h)}{\sqrt{9(1+r^2\omega^2C^2)R_h^2}}}}$ $I_h = \frac{\sqrt{3} \cdot U}{3R_h + r}$ $I_h = \frac{\sqrt{3}\omega CU}{\sqrt{1 + 9\omega^2C^2R_h^2}}$	— caz general, cu condiția $r_1 = r_3 = r_3 = r$, $C_1 = C_2 = C_3 = C$ — în rețele de joasă tensiune $r_1 = r_2 = r_3 = r$ — în rețele de înaltă tensiune $C_1 = C_2 = C_3 = C$
		Atingerea unei faze, o altă fază fiind pusă la pămînt		$I_h = \frac{U}{R_h + r_0}$	r_0 — rezistența de punere la pămînt a fazei defecte
3	Rețea trifazată cu neutrul legat la pămînt	Atingerea unei faze		$I_h = \frac{U}{\sqrt{3}(R_h + r_1 + R_0)}$	r_1 — rezistența pe fază a liniei pînă la locul de atingere
4		Descărcări capacitive		$I_h = \frac{U_M}{R_h} e^{-\frac{t}{R_hC}}$	U_M — valoarea tensiunii reziduale corespunzătoare situației mai defavorabile

9.4.1. PROTECȚIA ÎMPOTRIVA ELECTROCUTĂRII PRIN ATINGERE DIRECTĂ

Pentru a se evita accidentele prin electrocutare la atingeri directe, se iau următoarele măsuri de protecție:

1. Inaccesibilitatea la atingeri întîmplătoare, realizată prin:

— izolarea electrică (izolare de lucru) a tuturor elementelor conducătoare de curent care fac parte din circuitele curenților de lucru;

— utilizarea de carcase de protecție, fixate sigur pe suporturi;

— prevederea de îngrădiri din plasă, tablă perforată etc. fixate sigur pe suporturi și prin orificiile cărora să nu fie posibilă atingerea cu mîna a elementelor sub tensiune;

— amplasarea la înălțimi inaccesibile în mod normal;

— folosirea de blocări electrice sau mecanice care să nu permită accesul persoanelor neautorizate;

— amplasarea instalațiilor electrice în încăperi de categoria EE.

2. Mijloace pentru protecția personalului, care se împart în următoarele categorii:

— mijloace de protecție electroizolante care au ca scop protejarea personalului împotriva electrocutării prin izolarea față de părțile aflate sub tensiune (mijloace individuale de protecție: prăjini, clești, mănuși, cizme, șoșoni și galoși electroizolanți, scule cu mînere electroizolante, platforme, covorașe și preșuri electroizolante);

— mijloace de protecție cu rolul de a verifica prezența sau lipsa de tensiune (indicatoare portabile de tensiune de tip capacitiv);

— mijloace de protecție contra apariției accidentale a tensiunii la locul de muncă (garnituri mobile de scurtcircuitare și legare la pămînt);

— mijloace de protecție cu rolul de a delimita fizic zonele protejate și zonele de lucru (scurtcircuitoare, panouri și paravane mobile, împrejmuiri și semnalizări mobile);

— mijloace cu rol de avertizare și semnalizare vizuală (indicatoare de securitate, banderole indicatoare și indicatoare rutiere);

— mijloace de protecție contra acțiunii arcului electric, a produselor de ardere etc. (ochelari de protecție, mănuși din materiale greu inflamabile, măști de gaze, căști individuale de protecție).

3. Tensiuni reduse de alimentare a utilajelor.

4. Izolarea suplimentară de protecție.

9.4.2. PROTECȚIA ÎMPOTRIVA ELECTROCUTĂRII PRIN ATINGERE INDIRECTĂ

Elementele instalațiilor care în mod normal nu sînt sub tensiune, dar care pot intra sub tensiune datorită unui defect, vor fi prevăzute cu una sau mai multe măsuri de protecție în funcție de:

— tipul rețelei de alimentare (cu neutrul izolat față de pămînt sau cu neutrul legat la pămînt);

— tensiunea nominală de lucru;

— categoria locului de muncă din punct de vedere al pericolului de electrocutare;

— tipul echipamentului electric;

— locul de amplasare al utilajului electric (în zona de manipulare sau în afara ei).

Nu se iau măsuri de protecție pentru:

— echipamentele electrice care au o tensiune nominală de lucru sub valorile tensiunilor de atingere maxim admise;

— elementele aparținînd instalațiilor cu tensiuni nominale de lucru pînă la 380 V c.a. (între faze) și 440 V c.c. (între conductoare) din locuri de muncă puțin periculoase cu condiția să nu existe posibilitatea de a fi atinse simultan echipamente fixe și obiecte conductoare în legătură cu pămîntul sau două echipamente electrice fixe.

Metodele de protecție împotriva electrocutării pot fi principale, dacă realizează singure protecția necesară (în general prin deconectarea sub 3 secunde), sau suplimentare, dacă au rolul de a completa metodele principale în scopul măririi siguranței protecției (prin scăderea tensiunilor de atingere sub valorile maxime admise sau mărirea rezistențelor de izolație).

În cazul rețelelor cu neutrul legat la pămînt, se va aplica una din următoarele *măsuri principale*:

— protecția prin legare la nul;

— alimentarea la tensiune redusă sau separarea de protecție, pentru echipamente mobile sau portabile;

și una din următoarele *măsuri suplimentare*:

— legarea la pămînt de protecție (echipamente fixe);

— izolarea suplimentară de protecție;

— egalizarea sau dirijarea distribuției potențialelor;

— deconectarea automată în cazul apariției unei tensiuni periculoase de defect sau a unui curent periculos de defect;

— folosirea mijloacelor individuale de protecție, pentru echipamente mobile sau portabile.

În cazul rețelelor cu neutrul izolat față de pămînt, se aplică concomitent următoarele măsuri de protecție:

— legarea la pămînt de protecție;

— controlul permanent al rezistenței de izolație a rețelei față de pămînt, cu deconectarea sectorului defect și semnalizarea acustică sau optică a scăderii nivelului de izolație sub valoarea de 8 kΩ/fază pentru rețelele 3 × 380 V și 4 kΩ/fază pentru rețelele 3 × 220 V;

— egalizarea sau dirijarea distribuției potențialelor;

— deconectarea rapidă a punerilor duble la pămînt;

— izolarea suplimentară de protecție (pentru instalațiile de înaltă tensiune);

— mijloace individuale de protecție.

9.4.3. PROTECȚIA PRIN LEGARE LA NUL

1. *Generalități*

Protecția prin legare la nul se aplică rețelelor cu neutrul legat la pămînt cu tensiuni nominale pînă la 250 V față de pămînt și constă în legarea la conductorul de nul de protecție a tuturor părților metalice ale instalațiilor electrice care pot fi puse accidental sub tensiune (fig. 9.3). Ea constituie un mijloc principal de protecție și devine obligatorie dacă nu este

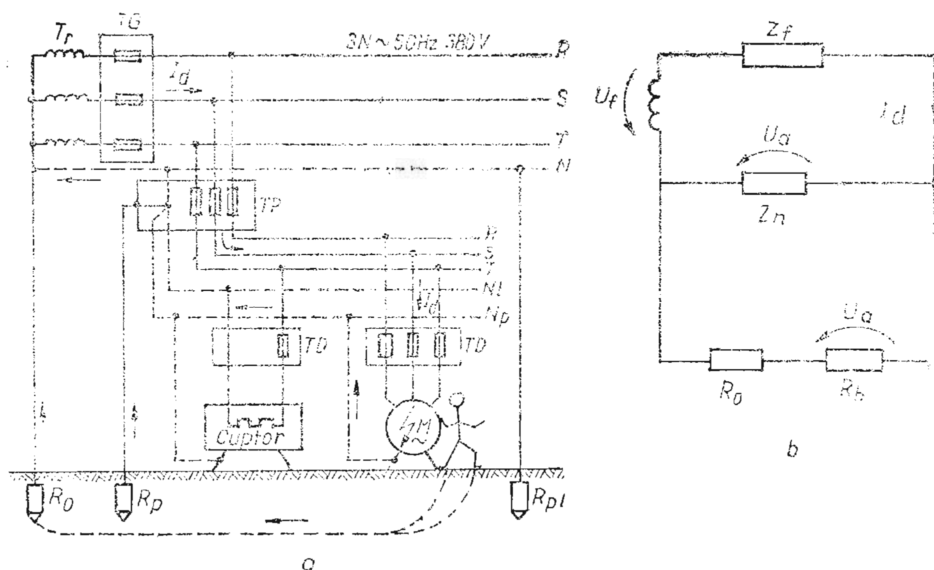


Fig. 9.3. Protecția prin legare la nul:
a — schema de principiu; *b* — schema electrică echivalentă pentru cazul atingerilor indirecte.

posibil să se realizeze, cu mijloace justificate tehnico-economic, protecția prin legare la pămînt.

În cazul producerii unui defect de izolație a unei faze, conductorul de nul de protecție și faza defectă sînt puse în legătură galvanică prin intermediul carcasei metalice, formîndu-se astfel un scurtcircuit între faza respectivă și conductorul de nul. Curentul de defect ce apare în acest caz are expresia:

$$I_d = \frac{U_f}{Z_f + Z_n} \text{ [A]}, \tag{9.3}$$

în care U_f este tensiunea de fază, în V;

Z_f — impedanța conductorului fazei defecte de la sursa pînă la locul defectului, în Ω;

Z_n — impedanța conductorului de nul în, Ω.

Protecția prin legare la nul constă așadar în dirijarea curentului de defect pe o cale de curent impusă, în scopul folosirii acestuia pentru acționarea dispozitivului protecției maximale de curent. Se urmărește în acest fel izolarea prin deconectare a sectorului defect într-un timp mai scurt decît trei secunde. Dacă nu există certitudinea deconectării în maximum 3 secunde, este obligatorie prevederea unei măsuri suplimentare de protecție.

La protecția prin legare la nul, în cazul unui defect de izolație, pe conductorul de nul se produce o cădere de tensiune (neglijînd reactanțele conductoarelor) (fig. 9.3, *b*):

$$U_0 = I_d \cdot R_n = \frac{U_f}{R_f + R_n} \cdot R_n \quad \text{[V]}, \tag{9.4}$$

relație care poate fi adusă sub forma (în ipoteza că conductorul de nul și cel de fază sînt confecționate din același material și au aceeași lungime):

$$U_0 = U_f \frac{1}{1 + \frac{s_n}{s_f}} \text{ [V]}, \qquad (9.5)$$

în care U_0 este căderea de tensiune pe conductorul de nul, în V;
U_f — tensiunea de fază, în V;
R_f — rezistența conductorului de fază, în Ω;
R_n — rezistența conductorului de nul, în Ω;
s_f — secțiunea conductorului de fază, în mm²;
s_n — secțiunea conductorului de nul, în mm².

Această cădere de tensiune constituie practic o tensiune de atingere ($U_a \approx U_0$ deoarece $R_n \ll R_0$) pentru elementele legate la nul, valoarea ei fiind în general mai mare decît valorile maxim admise.

Dacă curentul de defect nu este suficient de mare pentru a determina deconectarea sectorului avariat, prin circuitul de fază și conductorul de nul va circula timp îndelungat un curent ce produce o cădere de tensiune (tensiune de atingere) mai mare decît valorile maxim admise (considerate nepericuloase). Pentru reducerea tensiunii de atingere la o valoare mai mică ($U_a \leqslant 40$ V), în ipoteza unei tensiuni de fază $U_f = 220$ V, trebuie îndeplinită relația

$$\frac{220}{1 + \frac{s_n}{s_f}} \leqslant 40,$$

de unde se obține

$$s_n \geqslant 4{,}5\ s_f, \qquad (9.6)$$

condiție care ar conduce la consumuri exagerate de material. Din această cauză, în exploatare se impune $s_n \leqslant s_f$.

Se observă că practic protecția prin legare la nul nu asigură simultan deconectarea sectorului defect și reducerea tensiunilor de atingere sub valorile maxim admise. Din această cauză, se urmărește alegerea unei secțiuni a conductorului de protecție care să determine deconectarea sectorului defect într-un timp mai mic de 3 secunde, iar micșorarea tensiunilor de atingere se realizează cu ajutorul unei instalații de legare la pămînt care urmărește ca:

— deplasarea punctului de nul în cazul unei puneri la pămînt să nu fie posibilă decît în anumite limite;

— în cazul unui scurtcircuit, căderea de tensiune pe conductorul de nul să fie cît mai mică posibil;

— în cazul unei întreruperi a conductorului de nul să existe o protecție de rezervă.

Pînă la ultimul tablou de distribuție, în sensul transportului de energie, la care bara de nul este legată direct la instalația de legare la pămînt, conductorul de nul de lucru se poate folosi și drept conductor de nul de protecție, dar în continuare ele trebuie separate (fig. 9.4). De la ultimul tablou de distribuție pînă la receptor (tablou de utilaj), conductorul de legare la nul de protecție va fi izolat și protejat.

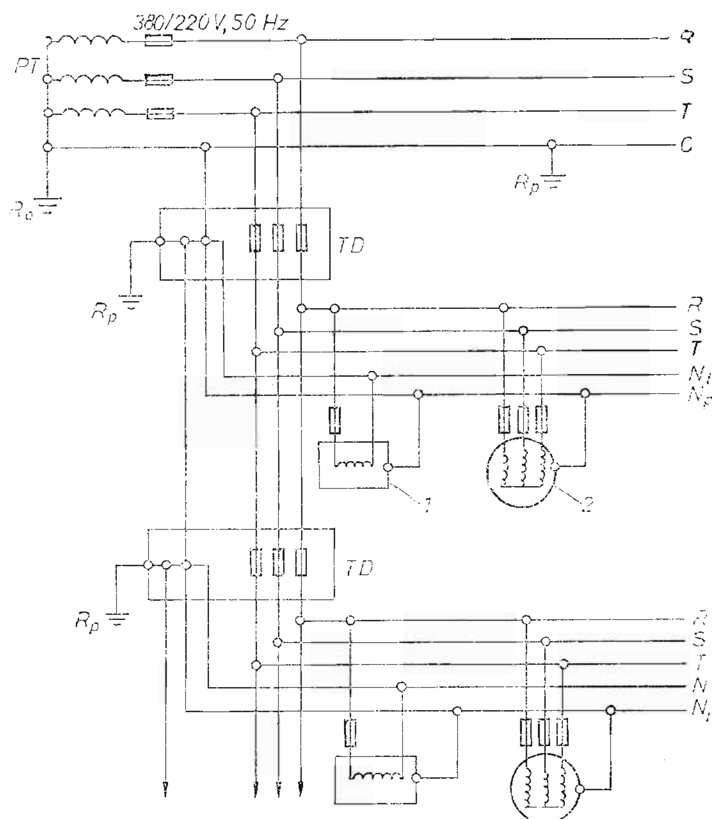


Fig. 9.4. Legarea repetată la pămînt a conductorului de nul:

1 — consumator monofazat în carcasă metalică; 2 — consumator trifazat în carcasă metalică.

Întreruperea conductorului de nul de protecție poate avea consecințe grave, deoarece în acest caz toate utilajele situate în aval față de punctul de întrerupere rămîn neprotejate, iar în cazul unei puneri la masă la un utilaj, prin conductorul de nul de protecție se pun sub tensiune toate utilajele legate la acesta. Din această cauză se interzice montarea de siguranțe sau întreruptoare pe traseul nulului de protecție, iar rețeaua conductoarelor de nul de protecție se leagă suplimentar la pămînt în următoarele puncte:

— în apropierea sursei de alimentare;

— în cazul rețelelor aeriene, la capetele liniilor și ramificațiilor și pe traseu în locurile alese, astfel încît distanța dintre două prize de pămînt de pe oricare traseu (linie sau ramificație) să nu fie mai mare de 1 000 m;

— în sectoarele productive și în instalațiile electrice interioare sau exterioare la toate tablourile de distribuție generale, principale, intermediare și secundare; o instalație de legare la pămînt poate servi mai multe tablouri de distribuție.

Instalațiile de legare la pămînt care deservesc instalația de legare la nul se calculează conform par. 9.4.6.5, astfel încît rezistența de dispersie față de pămînt, măsurată în orice punct al rețelei de nul să fie de cel mult 4Ω; se admite depășirea acestei valori cu condiția asigurării unor tensiuni de atingere și de pas sub valorile maxim admise, în funcție de timpul de deconectare a sectorului defect.

Protecţia prin legare la nul trebuie dublată de o măsură suplimentară în următoarele cazuri:

— curentul de defect nu îndeplineşte condiţiile (9.9) şi (9.10);

— nu există siguranţa deconectării echipamentului defect într-un timp mai mic de 3 secunde;

— pentru legarea la nul se foloseşte unul din conductoarele de aluminiu ale cablurilor;

— locul de muncă este periculos sau foarte periculos.

Ca măsură suplimentară de protecţie, se poate aplica cel puţin una din următoarele:

— legarea carcaselor echipamentelor la o instalaţie de legare la pămînt de protecţie;

— egalizarea potenţialelor în zona de manipulare a omului prin executarea de legături suplimentare între toate carcasele metalice ale echipamentelor;

— izolarea amplasamentului;

— folosirea protecţiei prin deconectarea automată a sectorului defect.

Carcasele metalice ale corpurilor de iluminat alimentate la o tensiune mai mare de 65 V şi montate în locuri periculoase sau foarte periculoase se vor lega la nul în următoarele cazuri:

— sînt montate la o distanţă mai mică de 2,3 m de pardoseală;

— sînt amplasate la o distanţă mai mică de 1,25 m de alte obiecte conductoare legate la pămînt;

— sînt instalate în zona de manipulare a omului care stă pe o construcţie metalică neizolată electric faţă de pămînt.

În instalaţiile alimentate de la aceeaşi sursă, protecţia prin legare la nul trebuie aplicată unitar, nefiind permisă utilizarea ei în anumite sectoare ale reţelei, în timp ce în altele s-a aplicat protecţia prin legare la pămînt, nerespectarea acestui principiu putînd duce la accidente.

2. *Compunerea instalaţiilor de legare la nul*

Conductoarele de nul folosite pentru protecţie vor fi din cupru sau din oţel. În cazuri justificate se pot folosi şi conductoare din aluminiu, însă cu respectarea următoarelor condiţii:

— conductorul de nul pentru protecţie să fie unul din conductoarele unui cablu sau unul din conductoarele unei linii aeriene; pentru asigurarea unei rezistenţe mecanice corespunzătoare, secţiunea minimă va fi de 2,5 mm² în cazul cablurilor şi 16 mm² în cazul liniilor aeriene;

— în instalaţia respectivă să nu fie interzisă utilizarea aluminiului;

— conductoarele şi legăturile electrice să fie de bună calitate;

— să se aplice şi o măsură suplimentară de protecţie.

În cazul în care conductoarele de nul sînt executate din materiale identice cu conductoarele de fază, secţiunea conductorului de nul de protecţie va fi cel puţin egală cu cele indicate în tabelul 9.10. Pentru legarea la bara de nul a unui tablou electric a carcaselor aparatelor montate în acesta, se admite ca secţiunea conductoarelor de protecţie să aibă valorile din tabelul 9.11. Barele de nul ale tablourilor generale se pot confecţiona din oţel cu o secţiune minimă de 150 mm² şi ele vor fi verificate la stabilitate termică pentru o temperatură maximă de 200°C.

Conductoarele de nul de protecţie vor fi marcate cu culorile galben şi verde alternate, cu excepţia barelor neizolate care vor fi vopsite în culoare neagră cu dungi albe, late de 10 mm, la intervale de cîte 100 mm.

Tabelul 9.10

Secțiunile minime ale conductoarelor de nul de protecție executate din același material cu conductoarele de fază [61]

Secțiunea conductorului de fază s_f, [mm²]	Secțiunea conductorului de nul de protecție s_n [mm²]	
	în tub, în conducte sau în cabluri cu mai multe conductoare	în linii aeriene și în instalații cu conductoare neizolate
1,5	1,5	—
2,5	2,5	—
4	4	4
6	6	6
10	10	10
16	16	16
25	16	25
35	16	35
50	25	50
70	35	50
95	50	50
120	70	70
150	70	70
185	95	95
240	120	120
300	150	150
400	185	185
>400	0,5 s_f	0,5 s_f

Tabelul 9.11

Secțiunile minime ale conductoarelor pentru legarea la nul a carcaselor aparatelor montate în tablouri electrice [61]

Valoarea nominală a curentului pentru căile de curent I_n, [A]	Secțiunea conductorului de protecție (Cu) s_n [mm²]
6	La fel cu conductorul principal
10	
16	
25	2,5
32	4
40 și 50	6
63	
80	10
100	
125	16
160	
200	25
250	
315	35
400	50
500	
630	
⩾800	70

3. *Proiectarea instalațiilor de legare la nul*

Proiectarea instalațiilor de legare la nul constă în determinarea materialului și secțiunii conductorului de nul pe baza datelor de proiectare existente (indicate în paragraful 9.4.6.5). Calculul va cuprinde următoarele etape (se vor respecta prevederile STAS 6616-78) indicate mai jos.

a. Curentul de defect necesar pentru izolarea sectorului avariat se determină în funcție de tipul protecției maximale:

— dacă protecția se realizează prin siguranțe fuzibile

$$I_d \geqslant K \cdot I_{nf} \quad [A], \tag{9.7}$$

în care: I_{nf} este curentul nominal al siguranței fuzibile, în A;

K — coeficient care se stabilește în funcție de tipul siguranței fuzibile, corespunzător unui timp de deconectare de 3 secunde; dacă nu se dispune de o diagramă de funcționare din care să rezulte valoarea lui K, se va lua:

$K = 3.5$, pentru $I_{nf} \leqslant 50$ A;

$K = 5$, pentru $I_{nf} \geqslant 63$ A;

— dacă protecția se realizează cu întreruptoare automate

$$I_d \geqslant 1{,}25\ I_{re} \quad [A], \tag{9.8}$$

în care I_{re} este valoarea curentului de reglaj al dispozitivului de protecție pentru deconectarea la scurtcircuit a întreruptorului.

b. Relația (9.3) permite calculul impedanței necesare a conductorului de nul (la rețelele fără cabluri se poate neglija reactanța) și apoi alegerea materialului și secțiunii acestuia ținîndu-se cont de tipul utilajului și categoria locului de muncă. Dacă conductorul de nul se execută din același material cu conductoarele de fază, secțiunea se alege conform tabelului 9.10.

În cazul în care curentul de defect calculat conform relațiilor (9.7) și (9.8) conduce la secțiuni prea mari (în special în cazul liniilor electrice aeriene), se limitează secțiunea conductorului de nul ($s_n \leqslant s_f$) și se micșorează siguranța fuzibilă.

c. Se verifică dacă tensiunea de atingere (rel. 9.4) este mai mică decît valorile maxim admise. În caz contrar se mărește secțiunea conductorului de nul (fără a se depăși însă secțiunea conductorului de fază) pentru a se încerca îndeplinirea condiției $U_a < U_{a\,adm}$.

d. Se proiectează instalația de legare la pămînt (paragraful 9.4.6.5) astfel încît să asigure scăderea tensiunilor de atingere și de pas sub valorile maxim admise. Se indică ca pe cît posibil, instalațiile de legare la pămînt locale să aibă aceeași rezistență de dispresie.

Conductoarele principale de legare la pămînt de protecție trebuie să fie din oțel sau din cupru și să aibe dimensiunile minime date în tabelul 9.12. Conductoarele din oțel vor fi zincate sau protejate împotriva coroziunii.

Conductoarele de ramificație pentru legarea carcaselor echipamentelor electrice la conductorul principal de protecție trebuie să fie din oțel sau cupru (la cabluri se pot folosi conductoarele din aluminiu și mantalele metalice din Al sau Pb ale acestora). Secțiunea conductorului de ramificație

Tabelul 9.12

Dimensiunile minime ale conductoarelor principale de legare la pămînt în cazul instalațiilor de protecție prin legare la nul [61]

Conductorul	Montat aparent sau în canale		Montat îngropat	
	secțiune [mm²]	grosime [mm]	secțiune [mm²]	grosime [mm]
Oțel rotund sau profile	100	3	100	4
Cablu din oțel	95	—	—	—
Cablu din cupru	25	—	25	—

va fi cel puțin egală cu 50% din secțiunea unui conductor de fază al circuitului de alimentare a receptorului respectiv, însă nu mai mare de 25 mm² pentru conductoare din cupru și 160 mm² pentru conductoare din oțel.

Indiferent de rezultatele calculului, conductoarele de ramificație pentru racordarea la instalația de legare la pămînt a barelor sau bornelor de nul ale tablourilor de distribuție și a conductoarelor de nul ale liniilor aeriene vor avea dimensiunile cel puțin egale cu cele indicate în tabelul 9.13, iar pentru instalația de legare la pămînt a receptoarelor, cele din tabelul 9.14.

Tabelul 9.13

Dimensiuni minime ale conductoarelor de ramificație pentru racordarea la instalația de legare la pămînt a barelor de nul și a conductoarelor de nul (LEA) [61]

Conductorul	Montat aparent		Montat îngropat	
	secțiune [mm²]	grosime [mm]	secțiune [mm²]	grosime [mm]
Oțel rotund, bandă sau profile	50	3	50	4
Cablu din oțel zincat	50	—	—	—
Cablu rotund din cupru unifilar sau multifilar	16	—	25	—

Tabelul 9.14

Dimensiuni minime ale conductoarelor de ramificație pentru racordarea receptoarelor la instalația de legare la pămînt [61]

Conductorul	Montat aparent		Montat îngropat	
	secțiune [mm²]	grosime [mm]	secțiune [mm²]	grosime [mm]
Oțel rotund	—	5	—	6
Bandă de oțel	24	3	48	4
Profile din oțel	—	2	—	4
Sîrmă rotundă din cupru	4	—	4	—
Țevi din oțel	—	2,5	—	3,5

9.4.4. ALIMENTAREA LA TENSIUNE REDUSĂ

Principiul protecției constă în reducerea tensiunilor de atingere prin limitarea tensiunilor de alimentare la maximum 42 V c.a. sau 40 V c.c. Ea se folosește ca mijloc principal de protecție în cazul utilajelor portabile utilizate în locuri periculoase și foarte periculoase din punct de vedere al electrocutării. Din păcate folosirea tensiunilor reduse este limitată la receptoare de puteri mici, ceea ce constituie un dezavantaj important. Modul de echipare corespunzător unui circuit de tensiune redusă este reprezentat în figura 9.5.

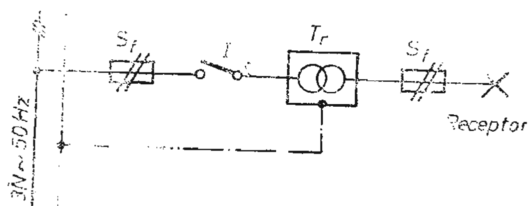


Fig. 9.5. Echiparea unui circuit de tensiune redusă.

Ca surse de joasă tensiune se pot utiliza transformatoare coborîtoare (speciale de protecție, omologate ca atare), convertizoare cu înfășurări separate între ele și acumulatoare electrice sau elemente galvanice. Folosirea autotransformatoarelor ca sursă de tensiune nu este admisă, deoarece prezintă pericolul de a transmite tensiunea rețelei, iar în caz de defect apar tensiuni de atingere inadmisibil de mari. În plus, autotransformatoarele pot transmite tensiuni de atingere periculoase și fără defect, dacă sînt alimentate dintr-o rețea cu neutrul legat la pămînt.

În instalațiile alimentate la tensiuni reduse trebuie îndeplinite următoarele condiții :

— carcasele echipamentelor alimentate la tensiune redusă să nu fie legate la conductorul de protecție ;

— circuitele electrice de tensiune redusă să nu fie cu neutrul legat la pămînt ;

— circuitele secundare ale transformatoarelor de protecție sau convertizoarelor să fie izolate față de pămînt și față de nulul de protecție ;

— carcasele metalice ale transformatoarelor de protecție să fie legate la conductorul de protecție ;

— transformatoarele de protecție să fie prevăzute cu întreruptor pe circuitul de alimentare și cu siguranțe atît pe circuitul primar, cît și pe cel secundar ;

— aparatele și conductoarele utilizate să fie izolate și omologate pentru tensiuni pînă la 250 V ;

— fișele și prizele de tensiune redusă să fie de construcție (format sau culoare) diferită față de cele pentru tensiune normală.

9.4.5. SEPARAREA DE PROTECȚIE

Separarea de protecție constă în alimentarea fiecărui receptor individual prin intermediul unui transformator de separație sau a unui grup motor-generator. În acest fel se obține o rețea izolată față de pămînt,

ceea ce înseamnă că în orice punct al acestei rețele potențialul electric nu are o valoare precizată în raport cu potențialul de referință al pămîntului; din principiul de funcționare al transformatorului (sau al generatorului) numai diferența de potențial dintre bornele secundare este determinată.

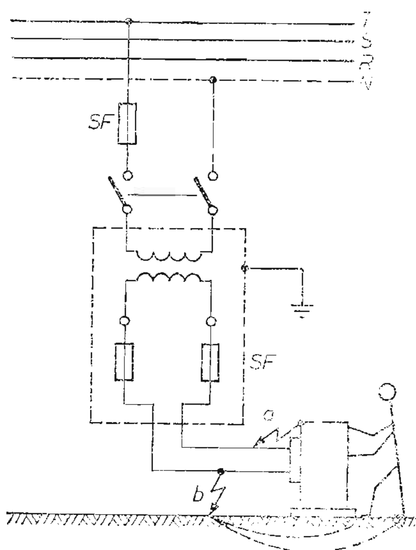


Fig. 9.6. Schema de principiu a separării de protecție.

Separarea de protecție se aplică ca mijloc principal de protecție pentru utilaje portabile, echipamente navale, prize pentru aparate de ras etc., ori de cîte ori din considerente tehnice sau economice nu se poate aplica tensiunea redusă.

Schema separării de protecție este dată în figura 9.6 și principiul acestei metode constă în faptul că circuitul de lucru al utilajului este separat galvanic de rețeaua de alimentare și este izolat față de pămînt. În cazul unei simple puneri la masă (de exemplu, defect în punctul *a*) nu apare nici un curent de defect — și deci nici tensiune de atingere — deoarece acesta nu are pe unde să se închidă. Din acest moment însă în rețea există un punct de potențial raportat la pămînt, astfel încît un nou defect (de exemplu, în punctul *b*) duce la apariția unei tensiuni de atingere.

Pericolul apariției a două defecte simultane, pe faze diferite ale rețelei de alimentare din secundarul transformatorului de separație, conduce la necesitatea racordării unui singur receptor la transformator.

Pentru aplicarea separării de protecție, se vor îndeplini următoarele condiții:

— tensiunea nominală între faze în primar va fi de cel mult 500 V, iar tensiunea între faze pe partea secundară a transformatorului de separație sau a grupului motor-generator de cel mult 380 V;

— curentul nominal al receptorului va fi de cel mult 16 A;

— la alimentarea receptoarelor mobile și portabile se vor folosi cordoane flexibile în manta de cauciuc în execuție grea sau cel puțin medie. Se exceptează numai aparatele electrice ușoare de uz casnic care pot fi prevăzute și cu cordoane cu manta din PVC sau din cauciuc în execuție ușoară;

— circuitul secundar al transformatorului (grupul motor-generator) va fi izolat față de pămînt;

— în locuri de muncă periculoase sau foarte periculoase se vor introduce numai conductoarele circuitului secundar, transformatorul amplasîndu-se (pe cît posibil) în afara lor;

— în locuri de muncă cu mase metalice mari, carcasele utilajelor portabile vor fi legate suplimentar cu un conductor separat la aceste mase;

— transformatorul de separație trebuie să fie de construcție specială, omologată, să aibă carcasa legată la pămînt și să fie prevăzut cu întreruptor pe circuitul primar și cu siguranțe atît pe circuitul primar, cît și pe cel secundar.

9.4.6. PROTECȚIA PRIN LEGARE LA PĂMÎNT

Protecția prin legare la pămînt constă în racordarea la o priză de pămînt a tuturor părților metalice ale echipamentelor electrice, care în mod obișnuit nu se află sub tensiune, dar care pot fi puse accidental sub tensiune. Prin legare la pămînt, se asigură, în rețelele izolate față de pămînt, micșorarea tensiunii de atingere sub valorile considerate nepericuloase, iar în rețelele cu neutrul legat la pămînt, deconectarea sectorului defect concomitent cu micșorarea tensiunii de atingere.

Legarea la pămînt se aplică ca mijloc principal de protecție în:

— instalații și echipamente electrice cu tensiuni de 1 000 V sau mai mari (STAS 7334-78);

— instalații și echipamente electrice fixe sau mobile, alimentate la tensiuni mai mici de 1 000 V din rețele trifazate cu neutrul izolat (STAS 6119-78);

— echipamente și utilaje portabile (aflate în exploatare) cu tensiune nominală de lucru pînă la 380 V, dacă se folosesc suplimentar și mijloace individuale de protecție (STAS 2612-72).

La instalațiile și echipamentele electrice alimentate la tensiuni mai mici de 1 000 V, din rețelele trifazate cu neutrul legat la pămînt, această metodă se aplică ca mijloc suplimentar și rareori ca mijloc principal (v. par. 9.4.3) de protecție.

I. *Rețele electrice cu tensiuni de 1 kV sau mai mari*

Conform [64], legarea la pămînt constituie pentru instalațiile și echipamentele electrice de înaltă tensiune mijlocul principal de protecție împotriva tensiunilor de atingere și de pas. Ca măsuri suplimentare se prevăd dirijarea distribuției potențialelor în jurul echipamentelor electrice și îngrădirilor acestora sau izolarea amplasamentului prin acoperirea locurilor de circulație și de deservire a echipamentelor (instalațiilor) electrice cu materiale care introduc o rezistență apreciabilă între om și pămînt.

Condițiile pentru asigurarea unor tensiuni de atingere și de pas sub limitele admise sînt:

$$\frac{k_a \cdot R_p \cdot I_p}{\alpha} \leqslant U_a \tag{9.9}$$

și

$$\frac{k_{pas} \cdot R_p \cdot I_p}{\alpha} \leqslant U_{pas}, \tag{9.10}$$

în care: $U_a(U_{pas})$ este tensiunea de atingere (de pas) maxim admisă conform par. 9.2.2., în V;

R_p — rezistența instalației de legare la pămînt de protecție, în Ω;

$k_a(k_{pas})$ — coeficientul de atingere (de pas) corespunzător prizelor de dirijare a distribuției potențialelor;

α — coeficientul de izolare al amplasamentului; dacă nu sînt determinări pentru cazul respectiv se vor considera în calcule următoarele valori:

$\alpha = 2$, pentru balast (piatră spartă) de 15 cm grosime;

$\alpha = 3$, pentru dale de beton;

$\alpha = 5$, pentru asfalt de 2 cm grosime;

I_p — curentul de punere la pămînt prin priză, în A.

Curentul de punere la pămînt I_p trebuie să se determine pentru fiecare instalaţie în parte, în funcţie de tipul şi configuraţia reţelei respective, precum şi de locul unde se consideră defectul.

Curenţii şi timpii de calcul pentru dimensionarea instalaţiilor de legare la pămînt de protecţie sînt daţi în [64], curentul de punere la pămînt simplă putînd fi calculat cu relaţiile din tabelul 9.9 în care se înlocuieşte R_h cu R_p.

În incinta întreprinderilor sau platformelor industriale se realizează întotdeauna o reţea generală de legare la pămînt de protecţie, prin legarea între ele a tuturor instalaţiilor de legare la pămînt din incinta sau de pe platforma respectivă, inclusiv cele aferente instalaţiilor de joasă tensiune. Instalaţia va îndeplini condiţiile impuse instalaţiilor de legare la pămînt de protecţie folosite în comun (par. 9.4.6.3). Pentru defectele pe partea de înaltă tensiune, pentru echipamentele electrice de joasă şi înaltă tensiune, vor fi respectate valorile tensiunilor de atingere şi de pas date în tab. 9.5 rîndul I. Fac excepţie incintele îngrădite ale instalaţiilor electrice unde are acces numai personalul de specialitate şi pentru care vor fi respectate valorile indicate în rîndurile II şi III ale tabelului.

În cazul în care instalaţia de joasă tensiune alimentează consumatori aflaţi în afara limitelor instalaţiei de legare la pămînt de protecţie destinată echipamentelor de înaltă tensiune, la folosirea în comun a prizei de pămînt şi pentru reţeaua de joasă tensiune, trebuie să se respecte condiţiile date în par. 9.4.3., dacă pentru partea de joasă tensiune se aplică protecţie prin legare la nul. Dacă nu se respectă aceste condiţii, este necesar ca instalaţia de legare la pămînt de protecţie pentru partea de înaltă tensiune să fie separată de cea pentru partea de joasă tensiune.

a) *Reţele cu neutrul legat la pămînt, direct sau printr-o rezistenţă ohmică*

Instalaţia de legare la pămînt se dimensionează astfel încît să realizeze tensiuni de atingere şi de pas sub valorile admise, în funcţie de timpul de acţionare al protecţiei de bază, care trebuie să asigure deconectarea sectorului defect (punere la pămînt monofazată) într-un timp mai mic sau cel mult egal cu 3 secunde. Instalaţia trebuie să îndeplinească condiţiile de stabilitate termică, luîndu-se în considerare timpul de trecere a curentului de punere la pămînt prin priză egal cu timpul de acţionare al protecţiei de rezervă (protecţia care acţionează în cazul refuzului de funcţionare a protecţiei de bază la o punere la pămînt) şi următorii curenţi:

— curentul de punere la pămînt prin priză, în cazul verificării stabilităţii termice a prizei de pămînt;

— curentul de punere monofazică la pămînt (scurtcircuit monofazic), în cazul verificării stabilităţii termice a conductoarelor de legare la pămînt.

În cazul staţiilor de conexiuni şi transformare interioare, pentru respectarea limitelor admise se vor lua următoarele măsuri:

— se va realiza întotdeauna o priză de pămînt artificială;

— se vor folosi prizele de pămînt naturale;

— se va realiza egalizarea potenţialelor în interiorul clădirii;

— se va realiza o instalaţie de dirijare a distribuţiei potenţialelor în exteriorul clădirii;

— se va aplica izolarea amplasamentelor atît în interior, cît şi în exterior.

b) *Rețele cu neutrul izolat față de pămînt*

În cazul rețelelor de înaltă tensiune, în categoria rețelelor cu neutrul izolat intră și acelea care sînt legate la pămînt prin una sau mai multe bobine de stingere. Rețelele izolate față de pămînt vor fi prevăzute cu protecții pentru semnalizarea punerilor la pămînt simple și deconectarea automată în cazul unei puneri duble la pămînt.

La posturile de transformare la care se folosește în comun instalația de legare la pămînt, precum și la cele la care se realizează separarea între instalațiile de legare la pămînt de pe partea de înaltă și joasă tensiune, dar care se găsesc în zone cu circulație frecventă, rezistența instalației de legare la pămînt va fi mai mică sau cel mult egală cu 4 Ω, indiferent de valorile rezultate din calcul. Dacă această valoare nu poate fi obținută în condiții economice se vor lua concomitent următoarele măsuri:

— instalația de legare la pămînt pe partea de înaltă tensiune se va separa de cea de pe partea de joasă tensiune;

— rezistența maximă a instalației de legare la pămînt pe partea de înaltă tensiune va fi de 10 Ω;

— protecția contra supratensiunilor atmosferice la partea de înaltă tensiune va fi asigurată cu descărcătoare cu rezistența variabilă.

Detalii privind calculul și execuția instalațiilor de legare la pămînt în rețelele cu tensiuni mai mari de 1 000 V sînt date în lucrarea [36].

2. *Rețele electrice de joasă tensiune*

a) *Rețele cu neutrul izolat față de pămînt*

Schema de principiu a protecției prin legare la pămînt în cazul rețelelor cu neutrul izolat este dată în figura 9.7. În cazul apariției unui defect de izolație la receptor (se consideră punere netă la carcasă), prin om trece un curent:

$$I_h = \frac{\sqrt{3}\,U}{3R_h + r + \dfrac{r \cdot R_h}{R_p}}\ [\mathrm{A}], \tag{9.11}$$

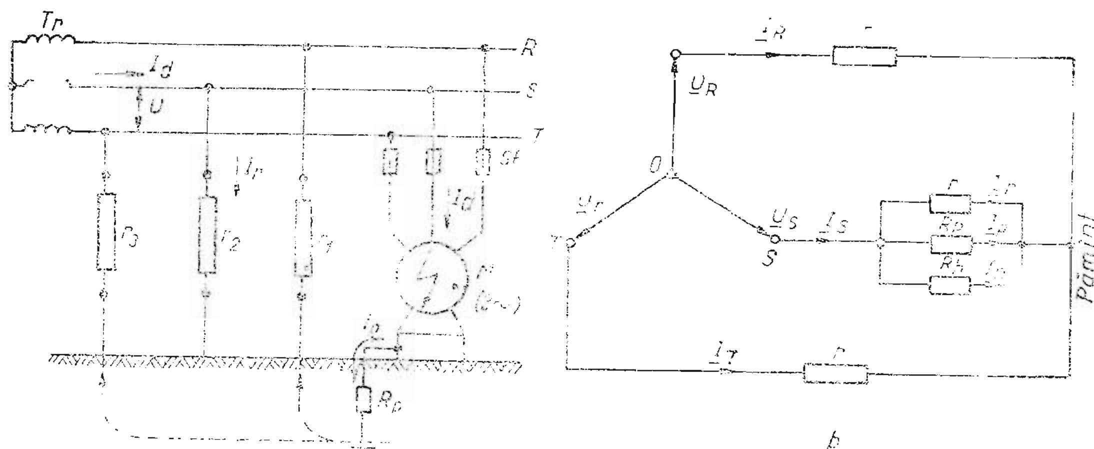


Fig. 9.7. Protecția prin legare la pămînt în rețele electrice de joasă tensiune cu neutrul izolat: *a* — schema de principiu; *b* — schema echivalentă pentru cazul atingerilor indirecte ($r_1 = r_2 = r_3 = r$).

în care U este tensiunea de linie a rețelei, în V;

R_h — rezistența omului, în Ω;

$r = r_1 = r_2 = r_3$ — rezistența de izolație a rețelei față de pămînt, în Ω;

R_p — rezistența instalației de legare la pămînt de protecție, în Ω.

Dacă instalația nu este prevăzută cu legare la pămînt ($R_p = \infty$), relația (9.11) devine:

$$I_h(R_p = \infty) = \frac{\sqrt{3}\ U}{3R_h + r}\ [A]. \tag{9.12}$$

Raportînd valoarea curentului care trece prin om în cazul în care carcasa este legată la pămînt la valoarea curentului cînd carcasa nu este legată la pămînt se obține:

$$\frac{I_h}{I_h(R_p = \infty)} = \frac{1}{1 + \frac{r \cdot R_h}{R_p(3R_h + r)}}. \tag{9.13}$$

Raportul (9.13) este întotdeauna subunitar, indicînd rolul de protecție al instalației de legare la pămînt.

Deoarece în general $R_p \ll R_h$ și $R_p \ll r$, pentru curentul prin instalația de legare la pămînt se obține:

$$I_p \approx \frac{\sqrt{3}\ U}{2R_p + r}\ [A]. \tag{9.14}$$

Omul este supus tensiunii de atingere

$$U_a = R_p \cdot I_p = \frac{\sqrt{3}\ U \cdot R_p}{2R_p + r}\ [V], \tag{9.15}$$

cu atît mai scăzută cu cît rezistența instalației de legare la pămînt este mai mică. Impunînd valoarea dorită pentru U_a, priza de pămînt se dimensionează astfel ca:

$$R_p \leq \frac{r \cdot U_a}{\sqrt{3}\ U - 2U_a}\quad [\Omega]. \tag{9.16}$$

Dacă rezistențele de izolație față de pămînt pe cele trei faze nu sînt egale sau dacă curenții capacitivi nu pot fi neglijați (rețele de joasă tensiune în cabluri), curentul prin instalația de legare la pămînt (relația 9.14) se poate calcula cu relațiile date în tabelul 9.9, în care R_h se înlocuiește cu R_p.

Din relațiile (9.15) și (9.16) se observă importanța rezistenței de izolație la limitarea tensiunii de atingere. Deteriorarea izolației rețelei față de pămînt determină majorarea tensiunii de atingere peste valorile admise, astfel încît nu se mai asigură protecția contra electrocutării.

Pericolul poate deveni foarte mare, dacă în timp ce există punerea la carcasă datorită deteriorării izolației unei faze la un anumit utilaj, apare o nouă punere la pămînt, pe o altă fază a rețelei, la alt utilaj. În acest caz se stabilește un curent de scurgere între faze, adică o punere la pămînt

bifazată. În această situaţie, indiferent de valorile rezistenţelor prizelor R_{p1} şi R_{p2} la care se leagă utilajele respective, suma tensiunilor de atingere

$$U_{a1} + U_{a2} = U \qquad (9.17)$$

este constantă şi egală cu tensiunea de lucru a reţelei. Această înseamnă că la cel puţin unul dintre utilaje va apare o tensiune de atingere periculoasă, în unele cazuri ambele tensiuni depăşind limita admisă. Evitarea accidentelor este posibilă prin legarea carcaselor utilajelor electrice printr-un conductor de rezistenţă electrică mică.

În acest caz

$$U_{a1} + U_{a2} = \frac{R_c}{R_{c1} + R_{c2} + R_c} \cdot U \quad [V], \qquad (8.18)$$

în care R_c este rezistenţa conductorului de legătură, în Ω;
R_{c1}, R_{c2} — rezistenţele conductoarelor pe fazele defecte care se găsesc în circuitul curenţilor de defect, în Ω;
U — tensiunea între faze a reţelei, în V.

Măsura propusă permite reducerea tensiunilor de atingere sub valorile maxim admise, iar la o reglare corespunzătoare a protecţiei la scurtcircuit asigură deconectarea sectorului defect într-un timp mai scurt de 3 secunde. Dat fiind pericolul pe care îl prezintă punerile la pămînt bifazate, protecţia împotriva accidentelor prin atingere indirectă necesită în plus o instalaţie de semnalizare automată în cazul unei puneri simple la pămînt.

Se poate deci concluziona că legarea la pămînt este eficace în cazul reţelelor de joasă tensiune cu neutrul izolat, dacă se îndeplinesc următoarele condiţii:

— rezistenţele instalaţiilor de legare la pămînt să fie suficient de mici, astfel încît tensiunile de atingere în cazul unei puneri simple la pămînt să nu depăşească valorile date în tabelul 9.4;

— carcasele echipamentelor electrice să fie legate între ele prin legături de egalizare a potenţialelor;

— rezistenţele instalaţiilor de legare la pămînt şi a celorlalte legături de protecţie să fie controlate riguros în mod periodic;

— se realizează controlul permanent al rezistenţei de izolaţie faţă de pămînt prin dispozitive cu posibilităţi de semnalizare (acustică şi optică) în cazul unei puneri simple la pămînt (în reţele cu $U \geqslant 42$ V c.a. sau $U \geqslant 60$ V c.c.);

— se asigură deconectarea rapidă a sectorului defect în cazul unei puneri duble la pămînt.

Legarea la pămînt de protecţie în reţelele de joasă tensiune cu neutrul izolat se realizează prin racordarea carcaselor metalice ale tuturor echipamentelor electrice atît la o reţea generală de protecţie cît şi, suplimentar, la o instalaţie de legare la pămînt locală (fac excepţie corpurile de iluminat, care se leagă numai la reţeaua generală de protecţie). Diferite elemente metalice aflate în apropierea instalaţiilor (echipamentelor) electrice (construcţii metalice, conducte pentru diverse fluide etc.) vor fi legate la instalaţiile de legare la pămînt locale în vederea egalizării potenţialelor.

Reţeaua generală de protecţie realizează o legătură conductoare continuă între toate carcasele şi elementele de susţinere metalice ale echipamentelor electrice alimentate de la aceeaşi sursă de energie electrică (trans-

formator sau generator), precum şi o legătură de rezistenţă electrică neglijabilă între toate instalaţiile de legare la pămînt locale. În cazul în care există mai multe sectoare alimentate de la aceeaşi sursă, reţelele generale de protecţie ale fiecărui sector vor fi conectate între ele, constituind o reţea comună.

Reţeaua generală de protecţie trebuie să fie legată la cel puţin două prize de pămînt situate în puncte diferite, astfel dimensionate încît rezistenţa de trecere la pămînt a reţelei generale de protecţie să fie mai mică sau cel mult egală cu 2 ohmi pentru instalaţiile şi echipamentele din subteran şi 4 ohmi pentru restul instalaţiilor şi echipamentelor electrice.

Rezistenţa de dispersie a instalaţiei de legare la pămînt locale va fi stabilită prin prescripţii departamentale astfel încît tensiunile de atingere şi de pas să nu depăşească — în cazul unei puneri la pămînt simple, valorile maxim admise. În cazul în care nu se dispune de date pentru determinarea curentului de punere la pămînt simplă, la exploatările subterane rezistenţa maximă a prizei locale va avea următoarele valori:

— 20 Ω, pentru prize locale care deservesc posturile de transformare şi instalaţiile din camerele de maşini;

— 50 Ω, pentru prizele locale care deservesc restul instalaţiilor electrice.

Se admite şi racordarea numai la instalaţii de legare la pămînt locale, cu respectarea următoarelor condiţii:

— rezistenţa instalaţiei de legare la pămînt să fie mai mică sau cel mult egală cu 4 ohmi;

— în exploatări subterane se realizează întotdeauna o reţea generală de protecţie;

— se vor aplica suplimentar izolarea amplasamentelor sau dirijarea distribuţiei potenţialelor astfel încît tensiunea de atingere şi de pas să fie mai mică sau cel mult egală cu 65 V.

b) *Reţele cu neutrul legat la pămînt*

Schema de principiu a protecţiei prin legare la pămînt în cazul reţelelor cu neutrul legat la pămînt printr-o priză de pămînt de exploatare, este dată în figura 9.8. În cazul apariţiei unui defect de izolaţie, prin circuitul

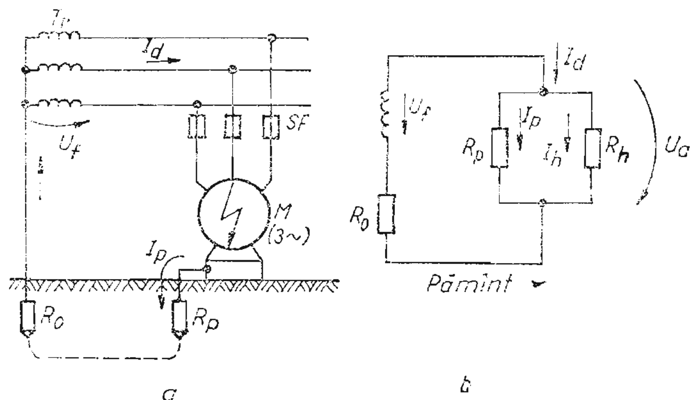


Fig. 9.8. Protecţia prin legare la pămînt în reţele electrice de joasă tensiune cu neutrul legat la pămînt:
a — schema de principiu; *b* — schema echivalentă pentru cazul atingerilor indirecte.

fază-pămînt va trece un curent (în cazul cel mai d avorabil, cînd rezistența de izolație se neglijează și $R_h \gg R_p$):

$$I_d = I_p = \frac{U_f}{R_0 + R_p} \quad [A], \tag{9.19}$$

în care: U_f este tensiunea de fază a rețelei, în V;
R_p — rezistența instalației de legare la pămînt de protecție, în Ω;
R_0 — rezistența instalației de legare la pămînt de exploatare, în Ω.

Tensiunile de atingere dintre carcasă și sol U_{ap} respectiv dintre instalația de legare la pămînt de exploatare și sol U_{a0} sînt:

$$U_{ap} = R_p \cdot I_p = \frac{R_p}{R_0 + R_p} U_f \quad [V]; \tag{9.20}$$

$$U_{a0} = R_0 \cdot I_d = \frac{R_0}{R_0 + R_p} U_f \quad [V]. \tag{9.21}$$

Indiferent de valorile rezistențelor R_p și R_0, suma tensiunilor este constantă și egală cu tensiunea de fază:

$$U_{ap} + U_{a0} = U_f \tag{9.22}$$

și deci cel puțin una dintre tensiunile de atingere ajunge la valori periculoase.

Se demonstrează că valorile tensiunilor de atingere nu depind de valorile absolute ale rezistențelor instalațiilor de legare la pămînt, ci de raportul lor. Aceasta înseamnă că pentru ca instalația de legare la pămînt de protecție să asigure o tensiune de atingere sub o valoare dorită, este necesar ca rezistențele R_p și R_0 să se găsească în raportul:

$$\frac{R_p}{R_0} \leqslant \frac{U_{ap}}{U_f - U_{ap}}. \tag{9.23}$$

Realizînd instalațiile de legare la pămînt în condițiile expuse (pentru $U_{ap} = 65$ V rezultă $R_p/R_0 \leqslant 0{,}42$, iar pentru $U_{ap} = 40$ V, $R_p/R_0 \leqslant 1/4{,}5$), tensiunea de atingere a instalației de legare la pămînt de exploatare va avea o valoare periculoasă, astfel încît trebuie luate măsuri suplimentare de protecție.

Rezultă deci că într-o rețea cu neutrul legat la pămînt nu este posibil ca protecția prin legare la pămînt să asigure tensiuni de atingere sub o anumită valoare fixată în toate punctele rețelei. Acest neajuns se elimină prin realizarea unei legături conductive de rezistență redusă între priza de pămînt de exploatare și cea de protecție.

Legătura echivalează de fapt cu realizarea protecției prin legare la nulul de protecție, asigurînd micșorarea tensiunilor de atingere și majorarea curenților de defect.

În rețelele de joasă tensiune cu neutrul legat la pămînt, protecția prin legare la pămînt poate fi utilizată ca mijloc principal de protecție numai dacă se prevăd echipamente pentru deconectarea rapidă a sectorului defect. Instalația de legare la pămînt trebuie să fie astfel dimensionată încît U_a și U_{pas} să nu depășească valorile maxim admise, iar sectorul defect să fie

deconectat într-un timp $t \leqslant 3$ s. Indiferent de rezultatul calculului, rezistenţa de dispersie a instalaţiei de legare la pămînt nu va depăşi 4 Ω (această valoare se obţine din relaţia 9.20 în care se iau $U_{ap} = 65$ V, $U_f = 220$ V şi $R_0 = 10\ \Omega$; avînd în vedere că s-a neglijat rezistenţa pămîntului şi impedanţa pe fază pînă la locul defectului, valoarea de 4 Ω pentru R_p se consideră că asigură $U_{ap} < 65$ V).

Practic, legarea la pămînt nu constituie în cazul reţelelor cu neutrul legat la pămînt o metodă de protecţie suficient de sigură din următoarele motive :

— pot apare tensiuni de atingere sau de pas periculoase fie la priza de pămînt de protecţie, fie la priza de pămînt de exploatare ;

— curentul de defect nu asigură întotdeauna acţionarea protecţiei utilajului defect ;

— valorile R_p rezultate uneori din calcul nu pot fi realizate practic decît cu investiţii foarte mari.

Datorită motivelor arătate, în reţelele cu neutrul legat la pămînt, ca metodă principală de protecţie se utilizează protecţia prin legare la nul, legarea la pămînt fiind măsura suplimentară de protecţie.

3. *Utilizarea în comun a instalaţiilor de legare la pămînt*

Pot fi utilizate în comun următoarele categorii de instalaţii de legare la pămînt :

a) aferente instalaţiilor electrice cu $U_n < 1$ kV ;

b) de exploatare, dacă sînt îndeplinite condiţiile pentru valorile maxim admise ale tensiunilor de atingere (în funcţie de valoarea timpului de deconectare) ;

c) aferente instalaţiilor de paratrăsnet, dacă rezistenţa de dispersie a prizei de pămînt comune va fi de cel mult 1 Ω şi cu condiţia separării conductoarelor de legare la pămînt a instalaţiei de paratrăsnet pînă la priză (vezi cap. 10) ;

d) aferente instalaţiilor din centrale, staţii şi posturi de transformare în care alimentarea pe partea de înaltă tensiune se face prin reţele cu neutrul izolat ($U_n \leqslant 35$ kV), iar pe partea de joasă tensiune se aplică protecţia prin legare la nul, în următoarele cazuri (fig. 9.9) :

— reţeaua de înaltă tensiune se compune din cabluri subterane cu armătură metalică fără înveliş electroizolant ;

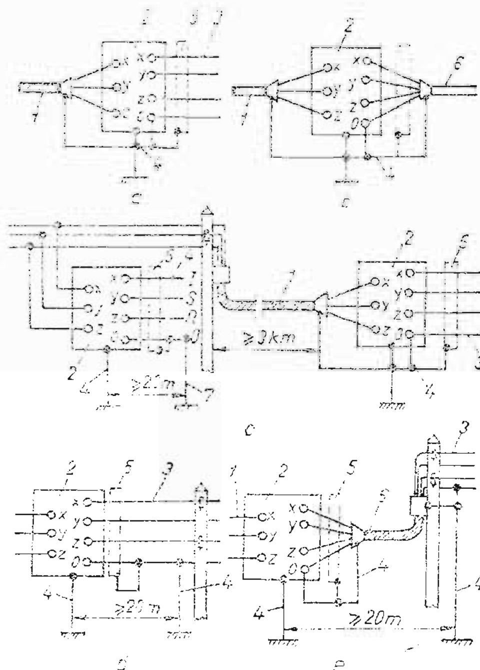


Fig. 9.9. Cazuri de utilizare în comun a instalaţiilor de legare la pămînt :

a — priză comună IT-LES, JT-LEA ; *b* — idem IT-LES, JT-LES ; *c* — prize separate IT-LEA ; JT-LEA şi comună IT-LES din LEA ; *d* — prize separate IT-LEA, JT-LEA ; *e* — idem IT-LEA, JT-LEA + LEA ; *1* — linie electrică subterană de înaltă tensiune (IT-LES) ; *2* — post de transformare ; *3* — linie electrică aeriană de joasă tensiune (JT-LEA) ; *4* — instalaţie de legare la pămînt ; *5* — obiecte metalice de pe JT care trebuie legate la pămînt ; *6* — linie electrică subterană de joasă tensiune (JT-LES).

— instalațiile de joasă tensiune sînt destinate numai serviciilor interne;

— nu se pot separa instalațiile de legare la pămînt datorită contactului electric cu obiecte metalice de întindere mare sau separarea ar necesita cheltuieli mari;

— este îndeplinită condiția

$$R_p \leqslant \frac{U_{a\,adm}}{I_p}, \tag{9.24}$$

în care R_p este rezistența de dispersie a instalației comune, iar I_p intensitatea curentului de punere la pămînt pe partea de înaltă tensiune (indiferent de valoarea calculată, se impune $R_p \leqslant 4\ \Omega$).

Dacă condițiile date la pct. *d)* nu pot fi respectate, sau dacă nu se pot asigura valori corespunzătoare pentru tensiunile de atingere în orice situație de defect, instalațiile de legare la pămînt pe înaltă și joasă tensiune trebuie separate.

4. *Compunerea instalațiilor de legare la pămînt de protecție*

Instalația de legare la pămînt de protecție cuprinde următoarele elemente (fig. 9.10): priza de pămînt; conductorul principal de legare la pămînt; conductoarele de ramificație de la conductorul principal la utilaje; conductorul de legătură dintre conductorul principal și priza de pămînt; diferite piese de legătură și montaj.

Priza de pămînt constituie elementul principal al instalației de protecție și din punct de vedere constructiv se deosebesc prize de pămînt *naturale* și *artificiale*.

Ele pot fi:

— simple, dacă sînt alcătuite dintr-un singur electrod plan, cilindric, sferic, inel etc (tab. 9.21 și 9.22);

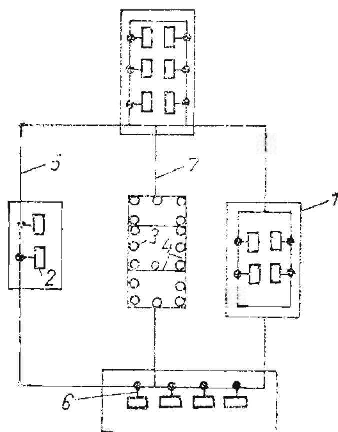


Fig. 9.10. Compunerea instalației de legare la pămînt de protecție (joasă tensiune):

1 — construcție; *2* — echipament electric; *3* — electrod; *4* — conductoare de legătură între electrozi (centură exterioară); *5* — conductor principal de legare la pămînt (centură interioară); *6* — conductor de ramificație; *7* — conductor de legătură între priză și conductorul principal. *Observație*: elementele *3* și *4* formează priza de pămînt complexă.

— multiple, dacă sînt realizate prin legarea mai multor prize simple de același fel;

— complexe, dacă sînt realizate prin legarea mai multor prize multiple (verticale și orizontale).

Prizele de pămînt naturale se compun din elemente conductive ale construcțiilor existente și care pot servi pentru trecerea spre pămînt a curenților de defect ce apar în mod accidental. Ele prezintă o serie de avantaje — cheltuieli minime de investiții și exploatare, durată mare de funcționare, secțiune mare etc. — fapt care le recomandă în practică. Ca prize de pămînt naturale se pot folosi:

— elementele metalice ale construcțiilor în contact cu pămîntul (direct sau prin fundații de beton);

— armăturile metalice ale construcțiilor din beton armat în contact cu pămîntul;

— conducte metalice îngropate în pămînt pentru transportul fluidelor necombustibile, cu condiția ca elementele izolate să fie

şuntate cu legături conductive corespunzătoare (dar nu mai puţin de 16 mm² Cu sau 50 mm² Ol);

— învelişurile şi armăturile metalice ale cablurilor subterane (fac excepţie cablurile cu armătură din aluminiu) cu condiţia ca secţiunea legăturii de continuitate la cutiile de îmbinare sau ramificaţie să fie de cel puţin 4 mm² Cu la secţiuni ale învelişului cablului de max. 6 mm² şi 10 mm² Cu la secţiuni mai mari.

Valoarea rezistenţei de dispersie a elementelor naturale poate fi apreciată prin asimilarea lor cu electrozii prizelor de pămînt artificiale, dar rezultatele obţinute prin calcule vor fi verificate întotdeauna prin măsurători.

Tabelul 9.15

Secţiunile (*s*), grosimile (*g*) şi diametrele (Ø) minime ale electrozilor şi ale conductoarelor de legătură în instalaţii cu tensiuni pînă la 1000 V [61]

Tipul electrodului	Durata de funcţionare			
	mai mică de 10 ani		mai mare de 10 ani	
	$pH \geq 6$	$pH < 6$	$pH \geq 6$	$pH < 6$
Benzi sau alte profile din oţel (cornier, T, I etc.) neprotejat	$s = 100$ mm² $g = 4$ mm	nu sînt admise	$s = 100$ mm² $g = 6$ mm	nu sînt admise
Idem zincat	$s = 100$ mm² $g = 4$ mm	$s = 100$ mm² $g = 6$ mm	$s = 100$ mm² $g = 4$ mm	$s = 150$ mm² $g = 6$ mm
Idem protejat în strat de bentonită	$s = 100$ mm² $g = 4$ mm	$s = 100$ mm² $g = 4$ mm	$s = 100$ mm² $g = 4$ mm	$s = 100$ mm² $g = 4$ mm
Ţevi din oţel neprotejat	$g = 3,5$ mm	nu sînt admise	$g = 4,5$ mm	nu sînt admise
Idem zincate	$g = 3,5$ mm	$g = 3,5$ mm	$g = 3,5$ mm	$g = 4,5$ mm
Idem protejat în bentonită	$g = 3,5$ mm	$g = 3,5$ mm	$g = 3,5$ mm	$g = 3,5$ mm
Oţel rotund neprotejat	Ø 11 mm	nu sînt admise	Ø 14 mm	nu sînt admise
Idem zincat	Ø 10 mm	Ø 10 mm	Ø 10 mm	Ø 14 mm
Idem protejat în bentonită	Ø 10 mm	Ø 10 mm	Ø 10 mm	Ø 10 mm
Placă din oţel neprotejată	$g = 3$ mm	nu sînt admise	$g = 4$ mm	nu sînt admise
Idem zincate	$g = 3$ mm	$g = 4$ mm	$g = 3$ mm	$g = 4$ mm
Idem protejat în bentonită	$g = 3$ mm	$g = 3$ mm	$g = 3$ mm	$g = 3$ mm
Oţel rotund protejat prin înglobare în beton	Ø 8 mm	Ø 8 mm	Ø 8 mm	Ø 8 mm

Observaţii

Utilizarea electrozilor din plăci se va evita pe cît posibil, iar pentru a putea fi folosite ca electrozi, plăcile trebuie să îndeplinească următoarele condiţii:

— suprafaţa unei singure feţe a plăcii trebuie să fie de min. 1 m²; dacă placa este găurită, suprafaţa totală a decupărilor trebuie să nu depăşească 35% din suprafaţa plăcii, respectînd condiţia de min. 1 m² suprafaţă utilă;

— muchia superioară a plăcii trebuie să se găsească la cel puţin 1 m sub nivelul solului;

— grosimea plăcii trebuie să fie de cel puţin 3 mm;

— distanţa dintre două plăci trebuie să fie de 3...6 m.

Prizele de pămînt artificiale se realizează special pentru a permite trecerea la pămînt a curenților de defect și se execută din oțel (în special) sau cupru (numai dacă solul este foarte agresiv — pH < 4 și dacă rezultă că este mai economic decît protejarea oțelului în strat de bentonită). Secțiunile (*s*), grosimile pereților (*g*) și diametrele minime ale electrozilor și ale conductoarelor de legătură dintre aceștia nu vor fi mai mici decît cele indicate în tabelul 9.15 respectiv 9.16.

Tabelul 9.16

Grosimea minimă a electrozilor din oțel pentru prizele de pămînt artificiale în instalații cu tensiuni peste 1 kV [64]

Nr. crt.	Modul de protejare împotriva coroziunii	Felul electrodului	Grosimea minimă a electrodului, în mm, pentru:	
			$pH \geq 6$	$pH < 6$
1 2 3	neprotejate	profil țeavă placă	6,0 4,5 * 4,0	nu sînt admise
4 5 6	zincate	profil țeavă placă	4,0 3,5 3,0	6,0 4,5 4,0
7 8 9	în strat de bentonită cu o grosime de min. 200 cm	profil țeavă placă	4,0 3,5 3,0	4,0 3,5 3,0

Observații

1. În cazul prizelor de pămînt destinate unei funcționări pînă la 10 ani, grosimile (*) pot avea respectiv valorile de 4,0; 3,5; 3,0 mm (ca la nr. crt. 4, 5, 6).

2. Secțiunea minimă a electrozilor din oțel pentru prizele de pămînt artificiale este de 150 mm².

3. Secțiunea minimă a electrozilor din cupru pentru prizele de pămînt artificiale va fi de 25 mm², pentru electrozi masivi și de 35 mm² pentru conductoare funie. Grosimea minimă a electrozilor din cupru va fi de 3 mm, pentru bare sau bandă și de 2 mm pentru plăci.

Prizele de pămînt artificiale pot fi verticale sau orizontale.

Prizele verticale (fig. 9.11) se folosesc în cazul în care straturile de la adîncime ale solului au rezistivități mai mici. Distanța de la partea superioară a electrodului îngropat pînă la suprafața solului va fi de cel puțin 0,5 m. Dacă distanța este mai mică, se va considera ca lungime utilă numai partea de la 0,5 m adîncime de îngropare pînă la capătul inferior al electrodului.

Prizele orizontale (fig. 9.12) se folosesc în cazul în care straturile de suprafață ale solului au o rezistivitate mai mică. Așezarea electrozilor poate fi radială (cu unghiurile dintre raze egale) sau paralelă. Adîncimea de îngropare este de regulă 0,6 ... 1 m, iar lungimea electrozilor peste 3 m.

Fig. 9.11. Electrozi pentru prize de pămînt verticale:
a, b, c — din țeavă de oțel; *d, e* — din profile de oțel; *f* — de adîncime (din țeavă de oțel).

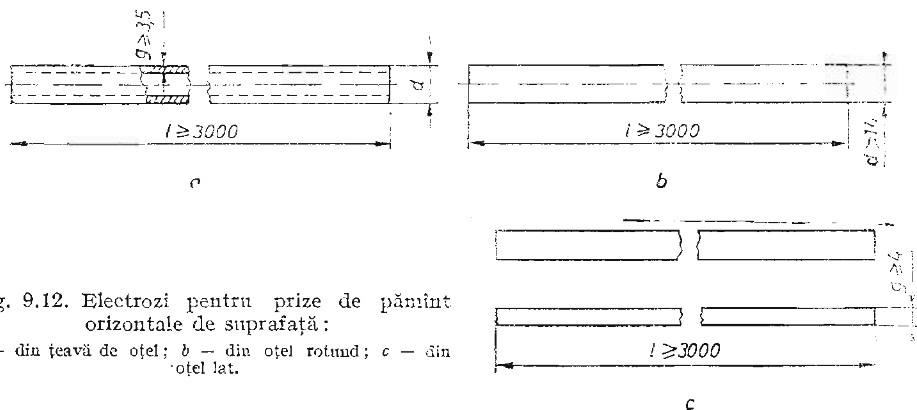


Fig. 9.12. Electrozi pentru prize de pămînt orizontale de suprafață:
a — din țeavă de oțel; *b* — din oțel rotund; *c* — din oțel lat.

Este interzisă folosirea electrozilor de aluminiu, funie de oțel sau a celor asamblați prin legături neconductoare sau care au acoperiri izolante.

Conductoarele de legare la pămînt trebuie să prezinte o rezistență electrică cît mai mică posibil (rezistența echivalentă a conductoarelor de la utilaj pînă la priza de pămînt trebuie să fie maximum 0,5 ohmi) și pe acestea este interzis a se monta elemente care pot produce o întrerupere a circuitului (siguranțe fuzibile, întreruptoare etc.).

Este interzisă de asemenea folosirea conductoarelor de aluminiu drept conductoare de legare la pămînt, cu excepția conductoarelor de aluminiu ale cablurilor.

Conductorul principal de legare la pămînt va fi legat la priza de pămînt prin cel puțin două legături diferite, racordate în două locuri distincte la priza de pămînt și secțiunea sa va fi mai mare sau cel puțin egală cu valorile date în tabelele 9.17 și 9.18.

Conductoarele de ramificație se vor executa din oțel sau cupru avînd secțiunea minimă admisă dată în tabelele 9.19 și 9.20.

Piesele de legătură și montaj asigură continuitatea instalației de legare la pămînt în cazul în care îmbinarea componentelor nu se face prin sudură.

Tabelul 9.17

Secțiunea minimă a conductoarelor principale de legare la pămînt în instalații cu tensiuni nominale pînă la 1000 V [60]

a) Conductoarele nu însoțesc conductoarele de lucru

Tipul conductorului	Secțiunea minimă, în mm², pentru:		
	Conductor îngropat în pămînt		Montaj aparent în canale sau conductor înglobat în beton
	neprotejat	protejat în țeavă de oțel etc.	
Sîrmă de oțel sau oțel rotund	95	95	95
Bandă sau profile de oțel cu $g \geq 3$ mm	—	100	100
Idem, cu $g \geq 4$ mm	100	—	—
Cablu din sîrme de oțel galvanizate, conductor unifilar de cupru	25	25	25
Conductor multifilar de cupru	35	25	25

b) Conductoarele însoțesc conductoarele de lucru și sînt protejate împotriva solicitărilor mecanice

Tipul conductorului	Secțiunea minimă, în mm², a conductorului principal în tub de protecție însoțind conductorul de lucru, funcție de secțiunea conductoarelor de lucru în mm².			
	Cu ≤ 2,5 Al ≤ 4,0	Cu ≤ 6 Al ≤ 10	Cu ≤ 10 Al ≤ 16	Cu ≤ 16 Al ≤ 25
Conductoare de cupru unifilare sau multifilare	4	6	10	16

Tabelul 9.18

Secțiunea minimă a conductoarelor principale de legare la pămînt în instalații cu tensiuni nominale de 1 kV sau mai mari [64]

Nr. crt.	Felul conductorului	Secțiunea [mm²]
1	Conductor de oțel cu $g \geq 3$ mm	100
2	Cupru masiv cu $g \geq 2$ mm	25
3	Funie de oțel	95
4	Funie de cupru	25

Tabelul 9.19

Secțiunea minimă a conductoarelor de ramificație în instalații cu tensiuni nominale de 1 kV sau mai mari [64]

Nr. crt.	Felul conductorului	Secțiunea [mm²]
1	Conductor de oțel cu $g \geq 3$ mm	50
2	Funie de oțel	50
3	Cupru masiv sau funie de cupru	16

Tabelul 9.20

Secțiunea minimă a conductoarelor de ramificație în instalații cu tensiuni nominale pînă la 1 000 V [60]

Tipul conductorului	Secțiunea minimă [mm²]				
	Montat aparent indiferent de secțiunea conductorului de lucru	Montat în tuburi de protecție, la o secțiune a conductorului de lucru [mm²]			
		Cu ≤ 2,5 Al ≤ 4	Cu ≤ 6 Al ≤ 10	Cu ≤ 10 Al ≤ 16	Cu ≤ 16 Al ≤ 25
Oțel rotund sau sîrmă de oțel Bandă sau alte profile din oțel cu grosimea minimă de 3 mm	50	—	—	—	—
Cablu din sîrme de oțel galvanizate	50	—	—	—	—
Conductor de cupru unifilar sau multifilar	16	4	6	10	16

De asemenea ele asigură izolarea diferitelor sectoare ale instalației în vederea măsurătorilor periodice a rezistenței de dispersie. Dimensiunile pieselor de legătură și montaj sînt date în [60].

5. *Proiectarea instalației de legare la pămînt de protecție*

Datele necesare pentru proiectare sînt :

— tipul rețelei de alimentare (cu neutrul izolat sau cu neutrul legat la pămînt) ;

— tensiunea de linie (fază) a reţelei de alimentare;

— utilajele care trebuie recordate la instalaţia de legare la pămînt (putere nominală, tensiune de alimentare, modul de realizare a protecţiei la scurtcircuit);

— tipul echipamentului de lucru folosit (par. 9.2.2);

— categoria locului de muncă din punct de vedere al pericolului de electrocutare — tabelul 4.1.

Proiectarea va cuprinde următoarele etape:

a. Tensiunile de atingere şi de pas maxim admise $U_{a\,adm}$ se iau din tabelul 9.4 şi 9.5 în funcţie de tipul echipamentului şi a locului de muncă.

b. Curentul prin instalaţia de protecţie I_p se stabileşte în funcţie de tipul reţelei în care se asigură protecţia. În calculele de dimensionare a instalaţiilor de legare la pămînt de protecţie se vor lua în considerare următorii curenţi:

— *curentul de punere la pămînt simplă* dar nu mai puţin de 10 A, la reţele cu neutrul izolat faţă de pămînt cu tensiuni de 1 kV sau mai mari; pentru I_p se poate utiliza relaţia

$$I_p = \frac{U \cdot l}{k} \text{ [A]}, \tag{9.24}$$

în care U este tensiunea nominală a reţelei, în kV;

l — lungimea simplă a reţelei, în km;

k — un coeficient egal cu 10 la LES şi 350 la LEA;

— *curentul efectiv de punere la pămînt* prin priză în cazul unei puneri la pămînt monofazate, la reţele cu neutrul legat la pămînt cu tensiuni de 1 kV sau mai mari;

— *în reţele cu neutrul izolat faţă de pămînt* cu tensiuni mai mici de 1000 V:

— curentul de punere la pămînt simplă, dar nu mai puţin de 10 A, în instalaţii echipate cu dispozitive care permit semnalizarea şi deconectarea sectorului defect în cazul unei puneri la pămînt simple;

— curentul de punere la pămînt dublă, în instalaţii echipate cu dispozitive care permit semnalizarea punerilor la pămînt simple şi deconectarea automată în cazul punerilor la pămînt duble. Acest curent se calculează cu relaţiile 9.7 sau 9.8 în funcţie de tipul protecţiei maximale;

— *în reţele cu neutrul legat la pămînt* cu tensiuni mai mici de 1000 V în care legarea la pămînt constituie măsura de protecţie principală, se consideră curentul de punere la pămînt simplă sau cînd acesta nu este determinat, se iau valorile care rezultă din relaţiile 9.7 şi 9.8.

c. Rezistenţa de dispersie necesară a instalaţiei de legare la pămînt se determină pentru toate cazurile cu relaţia

$$R_p = \frac{U_{a\,adm}}{I_p} \text{ [}\Omega\text{]}, \tag{9.25}$$

semnificaţia mărimilor fiind cunoscută.

Tabelul 9.21

Calculul rezistenței de dispersie a prizelor simple orizontale [60]

Electrodul prizei simple (singulare)	Schița	Formula de calcul a rezistenței de dispersie a prizelor simple orizontale
Țeavă așezată orizontal la nivelul suprafeței solului		$r_{p0} = 0{,}732 \frac{\rho}{l} \cdot \log \frac{2l}{d}$
Țeavă îngropată orizontal la adîncimea q.		$r_{pq} = 0{,}366 \frac{\rho}{l} \cdot \log \frac{l^2}{q \cdot d}$ * $r_{pq} = 2 \cdot \frac{\rho}{l}$
Profil (oțel lat) cu secțiunea dreptunghiulară așezat: — la suprafață: — la adîncimea q:		$r_{p0} = 0{,}732 \frac{\rho}{l} \cdot \log \frac{4l}{b}$ $r_{pq} = 0{,}366 \frac{\rho}{l} \cdot \log \frac{2l^2}{b \cdot q}$
Electrod inelar cu secțiune circulară așezat orizontal: — la nivelul suprafeței solului: — la adîncimea q:		$r_{p0} = 0{,}732 \frac{\rho}{l} \cdot \log \frac{8l}{\pi \cdot d}$ $r_{pq} = 0{,}366 \frac{\rho}{l} \cdot \log \frac{4l^2}{\pi \cdot q \cdot d}$
Electrod inelar cu secțiune dreptunghiulară așezat: — la suprafață: — la adîncimea q:		$r_{p0} = 0{,}732 \frac{\rho}{l} \cdot \log \frac{16l}{\pi \cdot b}$ $r_{pq} = 0{,}366 \frac{\rho}{l} \cdot \log \frac{8l^2}{\pi \cdot b \cdot q}$
Placă așezată pe suprafața solului		$r_{p0} = 0{,}44 \frac{\rho}{\sqrt{S}}$
Placă circulară așezată pe suprafața solului		$r_{p0} = \frac{\rho}{2D}$
Electrod semisferic îngropat, cu o suprafață circulară (baza) la nivelul suprafeței solului.		$r_{p0} = \frac{\rho}{\pi \cdot D}$

Notațiile utilizate sînt:

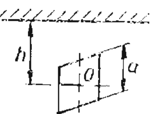
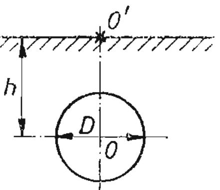
r_{p0} — rezistența de dispersie a prizei simple la suprafața solului, în Ω;
r_{pq} — rezistența de dispersie a prizei simple la adîncimea q, în Ω;
ρ — rezistivitatea de calcul a solului, în Ωm;
d — diametrul electrodului, în m;
b — lățimea barei, în m;
l — lungimea electrodului, în m;
S — suprafața plăcii, în m²;
D — diametrul plăcii sau inelului, în m;
q — adîncimea de îngropare a prizei orizontale, în m;

* Formulă simplificată, cu aproximație acceptabilă pentru $l = 10 \ldots 25$ m și $d \approx 0{,}016$ m.

Tabelul 9.22

Calculul rezistenței de dispersie a prizelor simple verticale [60]

Felul electrodului prizei simple (singulare)	Schița	Formula de calcul a rezistenței de dispersie
Țeavă cu partea superioară la nivelul suprafeței solului și diametrul țevii mult mai mic decît lungimea ei $d \ll l$	O; l; d	$r_{p0} = 0{,}366 \frac{\rho}{l} \log \frac{4l}{d}$ *) $r_{p0} = 0{,}9 \frac{\rho}{l}$
Țeavă îngropată la adîncimea $h = q + \frac{l}{2}$	q; h; l; d	$r_{ph} = 0{,}366 \left(\log \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \log \frac{4h + l}{4h - l} \right) \frac{\rho}{l}$
Bară cu secțiunea dreptunghiulară: — la nivelul suprafeței solului — îngropată la adîncimea $h = q + \frac{l}{2}$		$r_{p0} = 0{,}366 \frac{\rho}{l} \log \frac{8l}{b}$ $r_{ph} = 0{,}366 \frac{\rho}{l} \left(\log \frac{4l}{b} + \frac{1}{2} \log \frac{4h + l}{4h - l} \right)$
Placă de formă neregulată îngropată la adîncimea $h = q + \frac{l}{2}$		$r_{ph} = \frac{\rho}{8 \sqrt{\frac{S}{\pi}}} \left(1 + \frac{2}{\pi} \arcsin \sqrt{\frac{\frac{S}{\pi}}{4h^2 + \frac{S}{\pi}}} \right)$

Placă pătrată îngropată la adîncimea $h = q + \frac{a}{2}$		$r_{ph} = 0{,}222 \frac{\rho}{a} \left(1 + 0{,}637 \text{ arc sin} \sqrt{\frac{1}{1 + \pi \left(1 + \frac{2q}{a}\right)^2}}\right)$ ** $r_{ph} = 0{,}25 \frac{\rho}{a}$
Placă circulară îngropată la adîncimea $h = q + \frac{D}{2}$		$r_{ph} = 0{,}25 \frac{\rho}{D} \left(1 + 0{,}637 \text{ arc sin} \sqrt{\frac{1}{1 + \left(\frac{4h}{D}\right)^2}}\right)$

Notațiile utilizate sînt :

ρ — rezistivitatea de calcul a solului, în Ωm;
l — lungimea electrodului, în m;
b — lățimea barei, în m;
d — diametrul exterior al țevii, în m;
q — distanța de la partea superioară a eletrolului pînă la suprafața solului, în m;
S — aria unei fețe a plăcii, în m²;
a — latura plăcii pătrate, în m;
D — diametrul plăcii circulare, în m;
r_{p0} — rezistența de dispersie a prizei simple avînd partea superioară la nivelul suprafeței solului, în Ω;
r_{ph} — rezistența de dispersie a prizei simple avînd partea superioară la adîncimea q, în Ω.

* Formulă simplificată, cu aproximație acceptabilă pentru $l = 1 \ldots 6$ m.
** Formulă simplificată cu aproximație acceptabilă.

În cazul prizelor simple, rezistența de dispersie a acestora se notează cu r_p și ea poate fi calculată cu ajutorul relațiilor date în tabelele 9.21 și 9.22. Valorile informative ale rezistivităților diferitelor soluri și ape sînt indicate în tabelul 9.23. Dacă electrozii nu au secțiune circulară, fiind confecționați din alte profile de oțel (secțiune pătrată, dreptunghiulară, cornier, profile T, I, U etc.) se folosesc aceleași formule, înlocuind diametrul $d = 2r$ cu următoarele mărimi:

Tabelul 9.23

Rezistivități ale diferitelor soluri și ape

(valori informative)

Nr. crt.	Natura solului sau apei	Rezistivitate ρ [Ωm]	
		Domeniul de variație în funcție de umiditatea și conținutul de săruri	Valori recomandate pentru calcule preliminare
1	Soluție de sare și ape acide	0,01	0,01
2	Apă de mare	1,0...5,0	3,00
3	Apă de pîrîu și rîu	10...50	20,00
4	Apă de iaz sau izvor	40...50	40,00
5	Apă subterană	20...70	50,00
6	Apă de munte (pîrîuri, rîuri, lacuri)	100...1200	700,00
7	Pămînt, humă, turbă (foarte umede)	15...20	20,00
8	Cernoziom	10...70	50,00
9	Humă vînătă cu conținut de sulfură de fier	10...20	10,00
10	Pămînt arabil	40...60	50,00
11	Pămînt argilos, argilă	40...150	80,00
12	Pămînt pietriș	100...500	200,00
13	Loess, pămînt de pădure, argilă cu nisip	100...300	200,00
14	Pămînt nisipos	150...400	300,00
15	Nisip foarte umed	100...500	400,00
16	Balast cu pămînt	500...6000	1000,00
17	Nisip, nisip cu pietriș	1000...2000	1000,00
18	Roci bazalte	10 000	10 000
19	Stîncă compactă	100 000	100 000
20	Granit, marmură	$10^6...10^9$	10^8
21	Sare gemă	10^{11}	10^{11}
22	Mică	$10^{12}...10^{15}$	10^{15}

— în cazul profilului *U* cu lățimea tălpilor *b*, $d = b$;

— în cazul oțelului cornier cu aripi egale *b*, $d = b$;

— în cazul oțelului cornier cu aripi inegale avînd aripa cea mai mică egală cu *b*, $d = b$;

— în cazul profilului T cu înălțimea tălpii *a*, $d = a$;

— în cazul profilului I cu înălțimea *h*, $d = h/2$.

Relațiile date permit determinarea elementelor componente ale prizei de pămînt, plecînd de la valoarea calculată din (9.25).

Practic însă, o priză de pămînt simplă nu este suficientă pentru a obține rezistența de dispersie necesară sau tensiunile de atingere și de pas maxim admisibile și din această cauză se utilizează prize multiple sau prize complexe. Prizele multiple verticale sau orizontale sînt formate din *n* electrozi identici

legați în paralel și rezistența lor de dispersie se calculează cu relația (se neglijează aportul legăturilor dintre electrozi)

$$R_p = \frac{r_p}{u \cdot n} \; [\Omega], \qquad (9.26)$$

în care: r_p este rezistența de dispersie a unei prize simple, în Ω;
u — coeficientul de utilizare (tab. 9.24, 9.25, 9.26 și 9.27);
n — numărul de electrozi.

Tabelul 9.24

Calculul coeficientului de utilizare u pentru prize multiple orizontale paralele [60]

Lungimea fiecăreia dintre prizele singulare, în m	Coeficientul de utilizare pentru o distanță între 2 electrozi de:	
	4 m	8 m
15...30	0,75	0,85
30...60	0,70	0,80

Tabelul 9.25

Calculul coeficientului de utilizare u pentru prize multiple orizontale radiale [60]

Lungimea unei bare, în m	Coeficientul de utilizare pentru o adîncime de îngropare q = 0,5...1 m	
	Priză radială cu trei electrozi	Priză radială cu patru electrozi
3	0,75	0,62
6	0,77	0,65
9	0,78	0,68
12	0,80	0,70
18	0,81	0,71

Prizele complexe sînt formate din mai multe prize verticale simple, legate în paralel prin prize orizontale sub formă de benzi. Rezistența totală a unei prize complexe este:

$$R_p = \frac{R_{p1} \cdot R_{p2}}{R_{p1} + R_{p2}} \; (\Omega), \qquad (9.27)$$

în care: R_{p1} este rezistența de dispersie a prizei multiple verticale, în Ω;
R_{p2} — rezistența de dispersie a prizei multiple orizontale (conductoarele de legătură), în Ω.

Rezistențele R_{p1} și R_{p2} se calculează cu relația (9.26), coeficienții de utilizare u_1 pentru R_{p1} și u_2 pentru R_{p2} fiind dați în tabelul 9.28. Coeficienții de utilizare au valori subunitare și reprezintă efectul de ecranare reciprocă ce apare între prizele simple apropiate. Dacă distanța dintre electrozii verticali ai unei prize complexe este mai mică decît lungimea unui electrod, valoarea coeficienților de utilizare scade atît de mult încît priza devine neeconomică.

Tabelul 9.26

Calculul coeficientului de utilizare u pentru prize multiple verticale [60]

Modul de așezare a electrozilor identici legați paralel	Formula de calcul a coeficientului de utilizare
Electrozii sînt așezați în linie dreaptă	$u = \dfrac{1 - \dfrac{\rho}{2\pi e\, r_p} \cdot \dfrac{5}{6}}{\left(1 + \dfrac{\rho}{2\pi e\, r_p}\right)\left[1 - \dfrac{1}{3}\left(\dfrac{\rho}{2\pi e\, r_p}\right)\right] - \dfrac{9}{4}\left(\dfrac{\rho}{2\pi e\, r_p}\right)^2}$
Electrozii sînt așezați în vîrfurile unui poligon regulat	$u = \dfrac{1}{1 + \dfrac{\rho}{2\pi D \dfrac{r_p}{n}} \cdot C}$
Electrozii sînt așezați pe toate laturile unui dreptunghi	$u = \dfrac{1}{1 + \dfrac{\rho}{2p \dfrac{r_p}{n}} \cdot C}$

Notațiile utilizate sînt:

- e — distanța între electrozi, în m;
- D — diagonala cea mai mare a poligonului sau diametrului cercului circumscris, în m;
- C — coeficientul de corecție, o funcție de numărul de electrozi legați în paralel, a cărui valoare se ia din tabelul 9.27;
- n — numărul de electrozi;
- p — perimetrul dreptunghiului, în m;
- r_p — rezistența de dispersie a unui singur electrod, în Ω.

Tabelul 9.27

Valorile coeficientului de corecție C în funcție de numărul de electrozi legați în paralel pentru prize multiple verticale [60]

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C	0,5	0,77	0,96	1,10	1,22	1,32	1,41	1,48	1,55
n	15	20	30	40	50	60	70	80	100
C	1,81	1,98	2,24	2,41	2,56	2,68	2,78	2,86	3,00

În figurile 9.13 și 9.14 se dau nomograme pentru calculul rezistenței de dispersie la cîteva tipuri uzuale de prize complexe.

d. Alegerea conductoarelor principale de legare la pămînt și a celor de ramificație se face pe baza curentului de punere la pămînt calculat la puncul b, folosindu-se tabelele 9.17—9.20.

e. Verificarea condițiilor de stabilitate termică a instalațiilor de legare la pămînt se face în special în cazul rețelelor cu tensiune de peste 1 kV, la care curenții de trecere prin instalație sînt mai mari.

Tabelul 9.28

Coeficienții de utilizare pentru prize complexe [60]

Nr. de electrozi	Distanța (e) dintre electrozii verticali în raport cu lungimea (l) a electrozilor	Coeficientul de utilizare			
		Electrozii verticali așezați liniar		Electrozii verticali amplasați pe un contur (circuit închis)	
		priza verticală u_1	priza orizontală u_2	priza verticală u_1	priza orizontală u_2
2	$e = l$	0,85	0,80	—	—
3		0,80	0,80	0,75	0,50
4		0,75	0,77	0,65	0,45
5		0,70	0,75	0,62	0,42
6		0,65	0,60	0,60	0,40
10		0,60	0,60	0,55	0,33
20		0,50	0,20	0,50	0,25
40		—	—	0,40	0,20
60		—	—	0,38	0,20
100		—	—	0,35	0,19
2	$e = 2l$	0,90	0,90	—	—
3		0,85	0,90	0,80	0,60
4		0,82	0,88	0,75	0,55
5		0,80	0,85	0,72	0,52
6		0,78	0,80	0,70	0,50
10		0,75	0,75	0,66	0,44
20		0,70	0,56	0,61	0,33
40		—	—	0,55	0,29
60		—	—	0,52	0,27
100		—	—	0,50	0,24
2	$e = 3l$	0,95	0,95	—	—
3		0,90	0,90	0,90	0,75
4		0,88	0,85	0,85	0,70
5		0,85	0,82	0,82	0,68
6		0,82	0,80	0,80	0,65
10		0,80	0,75	0,75	0,56
20		0,75	0,68	0,70	0,45
40		—	—	0,65	0,39
60		—	—	0,62	0,36
100		—	—	0,60	0,33

O instalație de legare la pămînt se consideră stabilă termic dacă în urma trecerii prin ea a curentului de punere la pămînt nu apar încălziri care ar putea provoca întreruperi ale conductoarelor, creșterea importantă a rezistenței de dispersie sau alte defecte.

Supratemperatura maxim admisă este 60°C pentru electrozi îngropați la o adîncime de cel mult 0,6 m și 80°C pentru o adîncime mai mare.

Relațiile de calcul privind verificarea la stabilitate termică a prizelor de pămînt sînt:

— pentru un regim termic de scurtă durată (de ordinul secundelor):

$$S \geqslant I_p \sqrt{\frac{\rho \cdot t}{\gamma \cdot \theta}}, \tag{9.28}$$

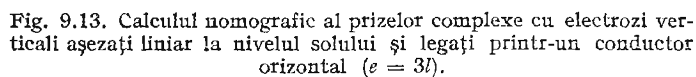


Fig. 9.13. Calculul nomografic al prizelor complexe cu electrozi verticali aşezaţi liniar la nivelul solului şi legaţi printr-un conductor orizontal ($e = 3l$).

în care S este suprafaţa de contact a electrozilor cu solul, în m²;

- I_p — curentul prin priză, în A;
- ρ — rezistivitatea de calcul a solului, în Ωm;
- θ — supratemperatura, în °C;
- γ — căldura specifică medie a pămîntului (dacă nu sînt date concrete, se consideră $\gamma = 1{,}7 \cdot 10^6$), în Ws/°C · m³;

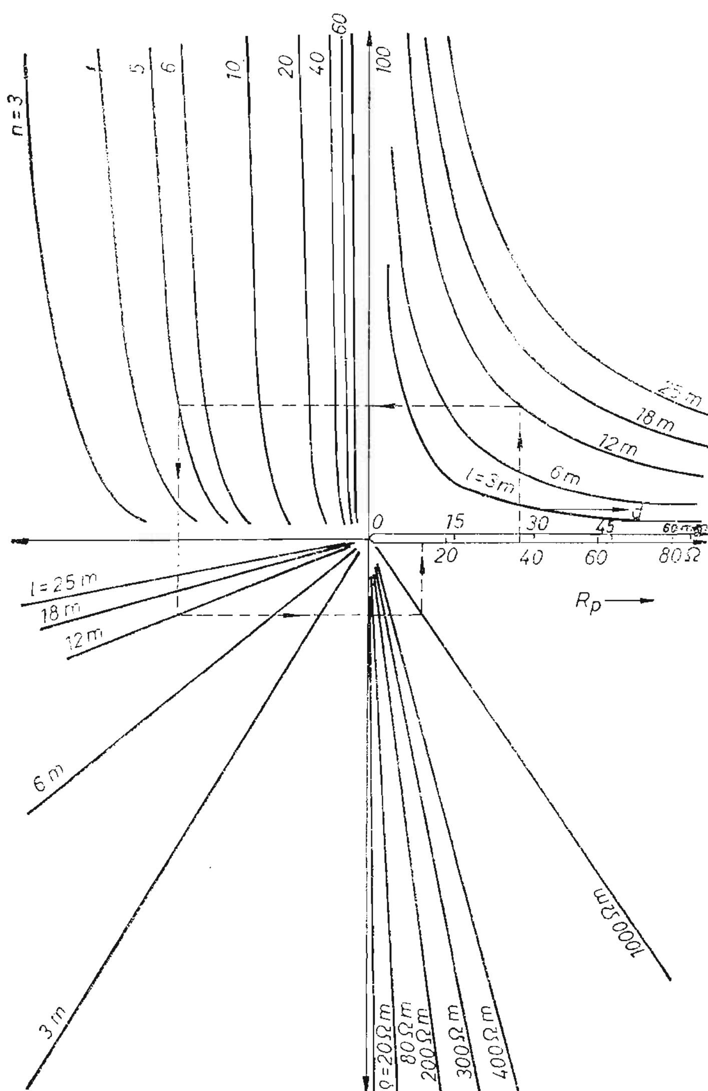


Fig. 9.14. Calculul nomografic al prizelor complexe cu electrozi verticali aşezaţi pe un contur la nivelul solului şi legaţi printr-un conductor orizontal ($e = 3l$).

— pentru un regim termic cu o durată t' cel mult egală cu timpul t indicat în tabelul 9.29 în funcţie de rezistivitatea solului şi tipul prizei de pămînt:

$$R_p \leqslant \frac{125}{I_p} \sqrt{\frac{t}{t'}}, \tag{9.29}$$

în care R_p este rezistenţa prizei de pămînt, în Ω;
I_p — curentul prin priză, în A;
t' — durata regimului termic, în minute;

Tabelul 9.29

Timpul de referință pentru verificarea la stabilitate termică a prizelor de pămînt [64]

Rezistivitatea solului [Ωm]	Durata t, în min, pentru:	
	priză verticală $l \geq 1,5$ m	priză orizontală
50	100	30
100	200	60
200	400	120
300	600	180

— pentru un regim termic cu timp nelimitat

$$R_p \leqslant \frac{1}{I_p} \sqrt{2\rho\lambda\theta}, \qquad (9.30)$$

în care R_p este rezistența prizei de pămînt, în Ω;
I_p — curentul prin priză, în A;
ρ — rezistivitatea solului, în Ωm;
λ — conductivitatea medie a solului (dacă nu sînt date concrete, se consideră $\lambda = 1,2$), în W/°C · m;
θ — supratemperatura, în °C.

Secțiunea conductoarelor de legare la pămînt (neîngropate în pămînt) trebuie astfel determinată încît temperatura lor să nu depășească 200°C în medii cu pericol de incendiu și 300°C cînd nu există acest pericol. Curenții maxim admiși în conductoarele de legare, astfel ca temperatura lor să nu depășească limita impusă, sînt dați în tabelul 9.30. Dacă timpul de deconectare t este diferit de 1 s, curentul admisibil I' se poate obține raportînd valoarea I din tabel la $\sqrt{t}$.

Tabelul 9.30

Curentul maxim admis în conductoarele de legătură astfel ca temperatura lor să nu depășească 200°C (300°C)

Secțiunea conductorului [mm²]	Curentul maxim admis timp nelimitat [A]			Curentul maxim admis timp de o secundă [A]		
	oțel	cupru	aluminiu sau oțel-aluminiu	oțel	cupru	aluminiu sau oțel-aluminiu
16	—	150 (180)	—	—	2 500 (3 000)	—
25	—	200 (240)	160 (190)	—	4 000 (4 800)	2 000 (2 400)
35	—	280 (330)	200 (240)	—	5 500 (6 600)	3 500 (4 200)
50	150 (180)	480 (570)	250 (300)	3 000 (3 600)	8 000 (9 600)	5 000 (6 000)
70	180 (210)	590 (700)	320 (380)	4 500 (5 400)	11 500 (13 500)	7 000 (8 400)
100	240 (280)	780 (930)	430 (510)	6 000 (7 200)	16 000 (19 000)	10 000 (12 000)
200	420 (500)	1 380 (1 650)	760 (910)	12 500 (15 000)	32 500 (39 000)	20 000 (24 000)

9.4.7. IZOLAREA SUPLIMENTARĂ DE PROTECȚIE

Izolarea suplimentară de protecție a devenit necesară datorită accidentelor generate de montarea greșită a instalațiilor de protecție prin legare la pămînt sau la nul. Ea se aplică ca mijloc principal de protecție la utilajele electrice portabile dacă cu mijloace justificate tehnic și economic nu se poate aplica tensiunea redusă și ca mijloc suplimentar de protecție la protecția prin legare la pămînt sau la nul în cazurile indicate în STAS 6119-78 și 6616-79. Această măsură de protecție se poate realiza prin:

— izolarea de protecție a utilajelor;

— izolarea de protecție a amplasamentului (locul de muncă).

Izolarea de protecție a utilajelor trebuie să reziste solicitărilor mecanice și termice impuse de desfășurarea proceselor de producție și se poate concretiza în:

— acoperirea cu un material izolant a tuturor părților conductive ale echipamentului, accesibile atingerii și în care în mod accidental ar putea intra sub tensiune:

— separarea prin piese izolante fixe a părților conductive accesibile atingerilor, de părțile care în mod accidental ar putea intra sub tensiune;

— izolarea dublă sau întărită a elementelor sub tensiune care în caz de defect pot pune sub tensiune elemente accesibile atingerilor.

Izolarea amplasamentului utilajelor constă în acoperirea cu materiale izolante a pardoselii și a elementelor metalice aflate în zona de manipulare și în legătură cu pămîntul. Zona de manipulare este spațiul delimitat de libera mișcare a mîinilor omului aflat într-un anumit loc. Ea are următoarele dimensiuni:

— 2,3 m, pe verticală deasupra punctului considerat pe pardoseală;

— 1,25 m, în toate direcțiile pe orizontală;

— 0,50 m, pe verticală sub punctul considerat pe pardoseală.

Izolarea amplasamentului se va face respectînd următoarele condiții:

— acoperirile cu material izolant vor avea o rezistență mecanică corespunzătoare, vor fi bine fixate pe suportul lor și vor avea o întindere suficientă, astfel încît atingerea echipamentului electric respectiv să nu fie posibil decît dacă se stă pe amplasamentul izolat;

— în cazul mai multor echipamente electrice care pot fi atinse simultan de pe un amplasament izolat, toate părțile lor metalice, care nu fac parte din circuitul curenților de lucru, se vor lega între ele.

Pentru izolarea amplasamentului se pot folosi cauciucul dielectric, lemnul uscat, material plastic sau alte materiale similare care pot rezista solicitărilor în condițiile reale de exploatare.

Rezistența R de izolare a amplasamentului trebuie să satisfacă relația:

$$R_{iz} \geqslant R_h\left(\frac{U_d}{U_{a\ adm}} - 1\right)\ [\Omega], \qquad (9.31)$$

mărimile avînd semnificațiile cunoscute.

9.4.8. EGALIZAREA POTENȚIALELOR

Dirijarea distribuției sau egalizarea potențialelor se folosește ca mijloc suplimentar de protecție la protecția prin legare la pămînt sau la nul și constă în legarea între ele a carcaselor echipamentelor și a tuturor ele-

mentelor bune conducătoare de electricitate care se găsesc în zona de manipulare a omului, prin conductoare cu rezistențe electrice neglijabile.

Această metodă se aplică în locuri de muncă în care este posibilă apariția unor potențiale de valori diferite între diferite utilaje sau elemente de construcții în legătură cu pămîntul. Dacă omul atinge simultan două elemente metalice aflate la potențiale diferite, diferența acestor potențiale determină apariția unui curent care poate depăși valorile limită indicate în tabelul 9.1. Aducînd punctele care pot fi atinse simultan de om la același potențial se împiedică apariția unui curent prin om, realizîndu-se astfel protecția prin egalizarea (dirijarea) potențialelor.

În exterior, instalația de egalizare a potențialelor se realizează cu ajutorul prizelor de pămînt orizontale îngropate în stratul superficial al solului și legate la instalația de legare la pămînt care deservește echipamentele din zona respectivă.

9.4.9. PROTECȚIA PRIN DECONECTAREA AUTOMATĂ A SECTORULUI DEFECT

Acest tip de protecție realizează — prin prevederea unor dispozitive speciale de protecție — deconectarea automată a sectorului defect în următoarele două situații:

— apariția unor tensiuni de atingere periculoase *(PATD)*;

— apariția unor curenți de defect periculoși *(PACD)*; se aplică ca măsură suplimentară de protecție, la protecția prin legare la pămînt sau la nul, în cazul în care acestea nu prezintă siguranța realizării unor tensiuni de atingere sub valoarea maximă admisă.

1. *Protecția prin deconectarea automată la apariția tensiunii de defect — PATD*, se poate utiliza în orice fel de rețele și evită apariția unor tensiuni de atingere periculoase pe elementele metalice ale unei instalații, care nu fac parte din circuitele curenților de lucru.

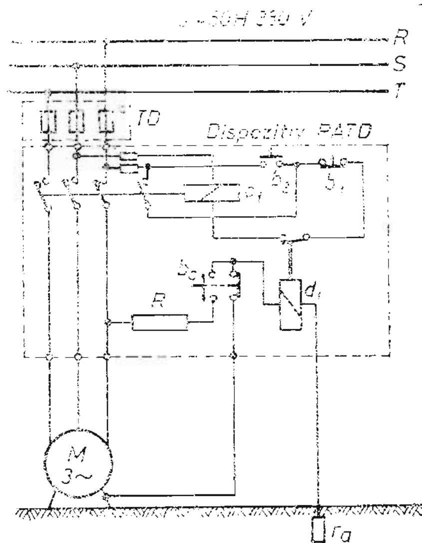


Fig. 9.15. Schema unei instalații PATD.

Schema instalației de protecție, prezentată în figura 9.15 cuprinde contactorul automat c_1 al echipamentului electric, releul de protecție d_1 care acționează asupra bobinei contactorului în cazul apariției unei tensiuni de defect, un dispozitiv de control al funcționării b_c și o priză auxiliară r_a. Rezistența prizei de pămînt auxiliare trebuie să satisfacă relațiile:

$$r_a < 10 \ [\Omega] \tag{9.32}$$

și

$$r_a \leqslant \sqrt{\left(\frac{U_{a\,adm}}{I_{dp}}\right)^2 - X_b^2} - R \ [\Omega],$$

în care: $U_{a\,adm}$ este tensiunea de atingere maxim admisă, în V;

I_{dr} — curentul de defect care determină acționarea sigură a protecției, în A;

R_b, X_b — rezistența, respectiv reactanța bobinei releului de protecție, în Ω.

La aplicarea protecției *PATD* se vor respecta condițiile:

— conductorul de legare la priza auxiliară va fi izolat față de conductorul de protecție legat la carcasa utilajului și de alte elemente metalice care au contact electric cu utilajul, pentru a nu șunta bobina releului;

— priza de pămînt auxiliară va fi separată de instalația de legare la pămînt de protecție și va fi la o distanță de cel puțin 10 m de alte prize de pămînt; rezistența ei de dispersie va fi de maximum 10 Ω;

— protecția trebuie să asigure deconectarea utilajului în maximum 0,2 secunde.

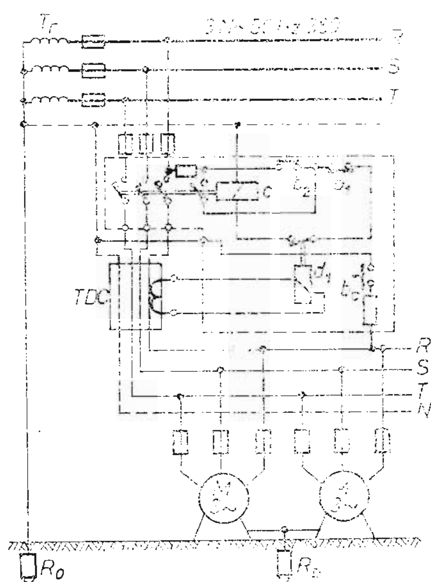


Fig. 9.16. Schema unei instalații PACD diferențială într-o rețea legată la pămînt.

2. *Protecția prin deconectarea automată la apariția curenților de defect — PACD*, se aplică numai în instalațiile electrice de curent alternativ și asigură declanșarea automată a alimentării cu energie electrică, pentru orice curent de defect egal sau mai mare cu o valoare dată. Ea funcționează pe baza acțiunii curenților ce însoțesc fenomenul dezechilibrării prin defect a receptoarelor electrice, schemele practice realizate împărțindu-se în două mari categorii:

— scheme care realizează o protecție diferențială;

— scheme care realizează sesizarea componentei homopolare (a curentului de defect).

În figura 9.16 se prezintă protecția *PACD* utilizînd un transformator diferențial de curent. La apariția unui curent de defect, sistemul trifazat se dezechilibrează și în secundarul transformatorului diferențial *TCD* se stabilește un curent care excită bobina releului de curent d_1, iar acesta prin contactul său normal închis întrerupe circuitul de alimentare a bobinei contactorului principal *c*. Schema mai cuprinde dispozitivul b_c de control a protecției.

La aplicarea *PACD* se vor respecta următoarele condiții:

— carcasele tuturor utilajelor protejate se vor lega la pămînt; rezistența instalației de legare la pămînt se va calcula cu relația:

$$R_p \leq \frac{U_{a\,adm}}{I_{dp}} \ [\Omega], \tag{9.33}$$

$U_{a\,adm}$ și I_{dp} avînd semnificațiile date la relația 9.32;

— protecția trebuie să asigure deconectarea utilajului în cel mult 0,2 secunde.

9.4.10. DISPOZITIVE ELECTRONICE UTILIZATE ÎN PROTECȚIA ÎMPOTRIVA ELECTROCUTĂRII

Așa cum s-a arătat anterior, starea izolației rețelelor electrice cu neutrul izolat are o importanță deosebită în evitarea accidentelor prin electrocutare; menținerea rezistenței de izolație la un nivel ridicat contribuie la funcționarea corectă și fără pericole a instalațiilor electrice.

Scăderea bruscă a rezistenței de izolație a unei faze și în special existența unor defecte de izolație pe două faze ale rețelei, crează condiții deosebit de periculoase în exploatare; în ultimul caz protecția prin legare la pămînt nu mai asigură micșorarea tensiunilor de atingere sub valorile maxime admise, protecția trebuind să fie asigurată de releele electromagnetice (siguranțe fuzibile) sau termice. Acționarea acestora nu este însă sigură, în multe cazuri curentul de defect fiind mai mic decît valoarea necesară acționării protecției maximale.

Ca urmare a apărut necesitatea construirii unor aparate care să asigure controlul permanent al rezistenței de izolație. În prezent, în acest scop se folosesc dispozitive electronice, care — instalate în stațiile de transformare — semnalizează optic și acustic atunci cînd nivelul rezistenței de izolație scade sub anumite limite, sau comandă declanșarea întreruptorului rețelei, îndată ce a apărut un defect de izolație ce ar putea prejudicia securitatea personalului.

Majoritatea releelor de scurgere utilizate în rețelele electrice cu neutrul izolat folosesc ca element de comandă tensiunea de deplasare ce apare în rețea în cazul defectelor de izolație asimetrice sau intensitatea unui curent continuu operativ (sub 5 mA) care se suprapune peste curentul alternativ de lucru al rețelei și trece prin locul defect. O prezentare detaliată a acestor relee este dată în lucrarea [20].

Aparatele bazate pe utilizarea tensiunii de deplasare, se utilizează frecvent pentru semnalizarea defectelor de izolație în rețelele de medie tensiune cu neutrul izolat. Folosirea tensiunii de deplasare ca element de comandă este corectă, deoarece curentul de scurgere care trece prin locul cu defect de izolație este proporțional cu tensiunea de deplasare. Dezavantajul principal al acestor relee constă în aceea că declanșarea lor depinde de parametrii uniform distribuiți ai rețelei și la fiecare modificare a acesteia trebuie refăcut reglajul sensibilității lor. În plus, acest tip de protecție nu este selectiv, nedînd nici un indiciu pentru identificarea liniei defecte.

Releele de scurgere bazate pe folosirea curentului continuu operativ se utilizează în rețelele de joasă tensiune și măsoară rezistența rezultantă a izolației prin metoda punții Wheatstone sau prin metoda voltampermetrică. Ele nu sînt influențate de capacitatea rețelei, dar sînt în mare măsură influențate de valorile rezistențelor de izolație ale fazelor rețelei, uneori în mai mare măsură decît de rezistența de defect. Pe acest principiu sînt construite releele de tip RUV și UKSIO utilizate în rețelele electrice cu neutrul izolat, cu tensiunea de 380 V, din exploatările miniere.

Ținînd seama de avantajele și dezavantajele folosirii uneia dintre metodele enunțate anterior, s-au construit relee de scurgere care folosesc simultan cele două principii. În acest fel se asigură o mai mare concordanță între momentul acționării protecției și gravitatea pericolului cauzat de curentul de defect. Rezistența de izolație a rețelei protejate este introdusă ca o rezistență catodică în circuitul unui tub electronic, iar tensiunea de

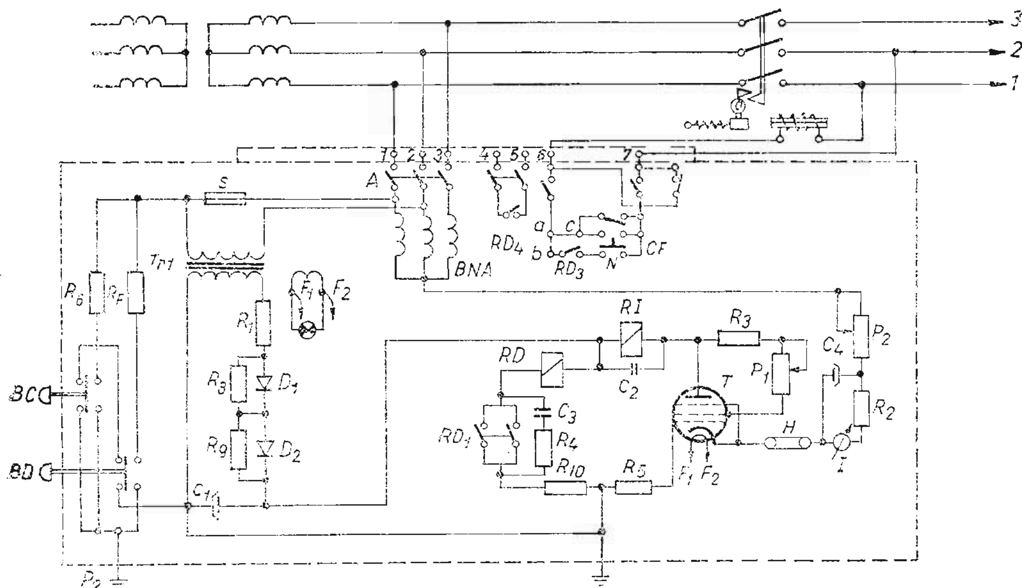


Fig. 9.17. Schema de principiu a releului de scurgere tip RSN−1.

deplasare ce apare la defecte nesimetrice este aplicată pe grila de comandă a aceluiași tub. Pe acest principiu s-au construit în țară aparatele tip RSN-1 și RSA-1 și variantele lor îmbunătățite RSN-2 și RSA-2.

La punerea sub tensiune a aparatului (fig. 9.17), în cazul unei rețele cu izolație bună, prin tubul electronic *T* nu circulă curent deoarece circuitul tubului conține în serie cu rezistența catodică și rezistența de izolație, care s-a presupus foarte mare. La o slăbire uniformă a izolației, această rezistență se micșorează, fapt care permite trecerea unui curent prin tub. La o scădere a izolației sub limita admisă, curentul prin tub ajunge la valoarea de acționare a releului *RI*, care își închide contactele normal deschise (RI_1) aflate în circuitul releului de declanșare al întreruptorului liniei.

La un defect de izolație pe una din faze, circuitul tubului electronic se închide de asemenea prin locul defect. În plus, în acest caz apare și tensiunea de deplasare a punctului nul care se aplică între catod și grila de comandă; alternanța pozitivă a acestei tensiuni micșorează negativare inițială, deblocînd tubul și acționînd releul. În acest fel s-a obținut mărirea sensibilității aparatului față de defectele de izolație monofazate.

Releul de scurgere RSN-1 comandă declanșarea întreruptorului principal în cazul apariției unui defect de izolație pe una din faze avînd rezistențele:

3 kΩ/fază la rețele de 127 V;	7 kΩ/fază la rețele de 380 V;
4,5 kΩ/fază la rețele de 220 V;	11 kΩ/fază la rețele de 660 V.

Releele RSN-2 și RSA-2 au caracteristici îmbunătățite prin faptul că pragul de acționare la defecte monofazate poate fi reglat independent de pragul de reglare pentru acționare la defecte trifazate. Pragul de acționare a releului la defecte de izolație simetrice poate fi reglat între 6 ÷ 18 kΩ/fază, iar la defecte monofazate, aparatul acționează la un curent de defect de 20 ÷ 35 mA.

Capitolul 10

INSTALAŢII DE PROTECŢIE CONTRA TRĂSNETULUI

10.1. GENERALITĂŢI

Conform [29], prin instalaţie de protecţie contra trăsnetului (IPT) se înţelege instalaţia care serveşte pentru protecţia împotriva efectelor directe ale loviturilor de trăsnet şi care este alcătuită din următoarele părţi principale:

— elemente de captare;
— elemente de coborîre;
— priză de pămînt.

Este obligatorie prevederea cu IPT, normală sau întărită, a următoarelor categorii de construcţii:

— clădiri şi instalaţii tehnologice în aer liber încadrate în categoria A sau B de pericol de incendiu (tab. 4.1);
— clădiri şi instalaţii tehnologice în aer liber încadrate în categoria C de pericol de incendiu, în care se utilizează sau depozitează materiale combustibile (dacă sînt situate în zone cu indicele K mai mare de 30 — fig. 10.1);
— clădiri care adăpostesc încăperi cu aglomerări de persoane (indiferent la nivelul la care acestea sînt situate);
— clădiri care reprezintă sau adăpostesc valori de importanţă naţională;
— clădiri de locuit cu mai mult de 12 niveluri, hoteluri şi cămine dacă sînt clădiri înalte (definite conform N.P. 22—77);
— construcţii şi instalaţii tehnologice în aer liber care sînt cel puţin de două ori mai înalte decît construcţiile sau plantaţiile din jur şi au cel puţin 10 m înălţime (coşuri de fum, silozuri, turnuri etc);
— construcţii şi instalaţii tehnologice în aer liber amplasate izolat, în zone cu $K > 30$; cabane sau construcţii similare cu înălţimea de cel puţin 10 m, clădiri de călători de categoriile III, IV şi V de pe liniile principale de cale ferată etc;
— clădiri care prezintă importanţă pentru diverse domenii din economia naţională;
— depozite deschise de materiale şi substanţe din clasele de periculozitate P.3, P.4 şi P.5 (conform N.P. 22—77) dacă se găsesc în zone cu $K>30$);
— grajduri pentru animale mari de rasă, indiferent de capacitate;
— grajduri pentru animale mari, cu o capacitate de peste 200 capete sau cu o capacitate de peste 100 capete amplasate în zona cu $K > 30$;
— alte cazuri bine justificate de proiectant.

Construcţiile şi instalaţiile tehnologice în aer liber vor fi prevăzute cu IPT normale, proiectate şi executate conform prevederilor indicate în continuare. Pentru IPT întărite (clădiri de categoriile A şi B sau grad IV şi V rezistenţă la foc şi construcţii speciale), se vor aplica restricţiile prevăzute în [29].

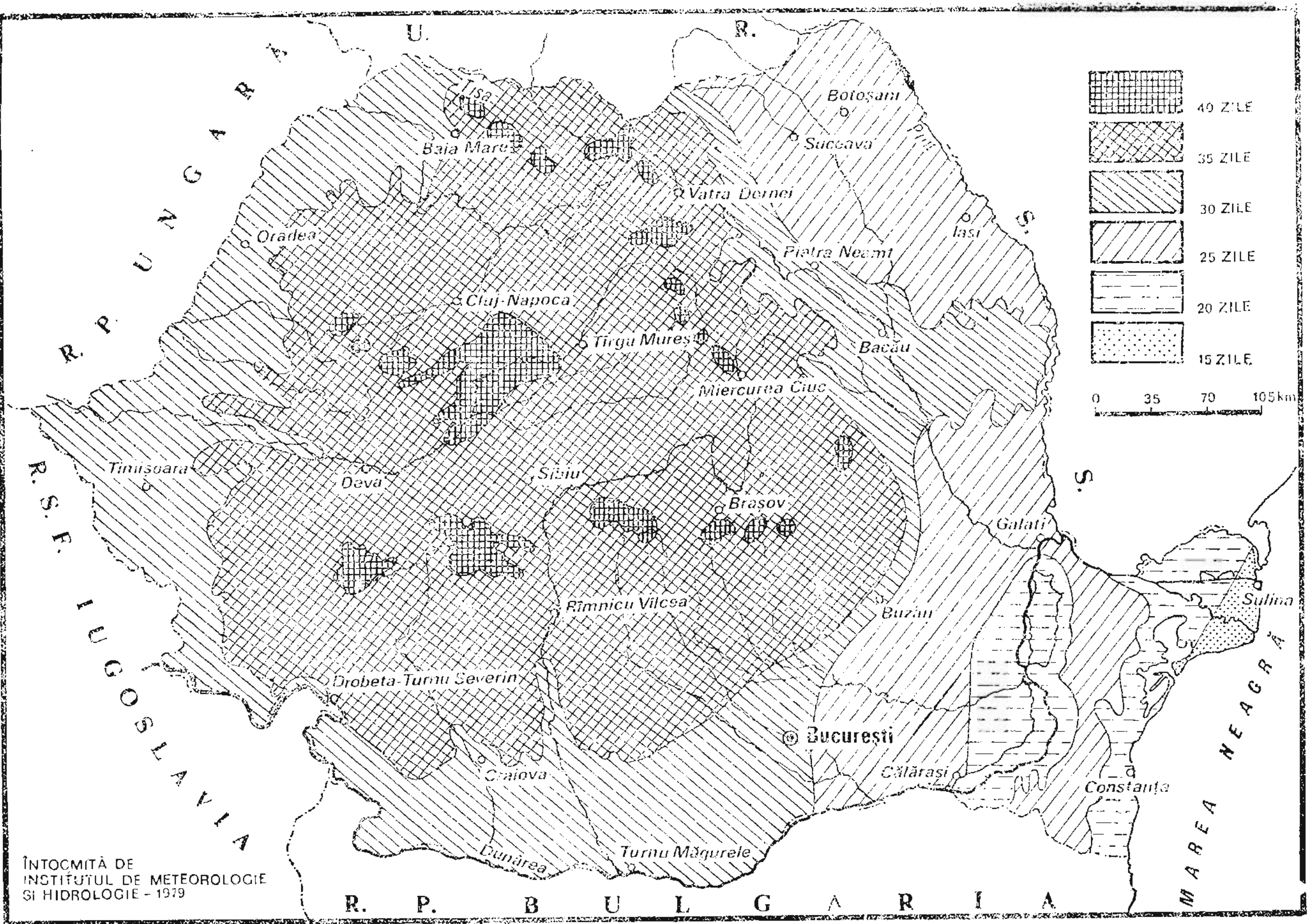


Fig. 10.1. Repartiția numărului anual de zile cu oraje (indicele *K*) pe teritoriul R. S. România (1949—1978).

10.2. CONDIŢII PENTRU INSTALAŢIILE DE PROTECŢIE CONTRA TRĂSNETULUI

10.2.1. MATERIALE ŞI DIMENSIUNI

La realizarea IPT se vor utiliza cu prioritate elementele metalice conducătoare electric ale construcţiilor (stîlpii metalici, armătura betonului, acoperişurile din tablă, elementele metalice ale instalaţiilor) dacă corespund concomitent următoarelor condiţii:

— prezintă continuitate electrică sigură în timp (legăturile între diferite părţi sînt executate prin sudură cu o lungime de minimum 5 cm sau prin şuruburi dacă legătura are cel puţin 10 cm² şi este executată cu două şuruburi M8 sau cu un şurub M10);

— au dimensiunile (secţiuni, diametre, grosimi) indicate în tabelul 10.1;

— prezintă rezistenţă mecanică şi rezistenţă la coroziune.

Tabelul 10.1

Materiale şi secţiuni minime utilizate în instalaţiile de protecţie contra trăsnetului [29]

Nr. crt.	Utilizare	Felul montajului	Materiale Dimensiuni minime	STAS	Observaţii
0	1	2	3	4	5
1	Conducte principale de captare sau de coborîre	În exteriorul clădirii, în montaj aparent sau îngropat	Oţel bandă zincat $s = 50$ mm²; $g = 2{,}5$ mm	908–79	În cazul montajului îngropat în elemente de construcţie (zid, beton), nu va fi zincat.
			Oţel rotund zincat Ø8	889–76 3732–76	
			Aluminiu bară $s = 100$ mm²; $g = 5$ mm	3033–78	Nu se admite montarea îngropată în elemente de construcţie.
		Înglobat în construcţie	Oţel de armare Ø8	438/1–74	
		În interiorul clădirii	Oţel rotund zincat Ø5	889–76 3732–76	
			Oţel funie zincat $s = 16$ mm²	3734–71	
			Aluminiu rotund Ø 5	3322–78	Nu se admite îngropat neprotejat în zid sau beton; se va monta protejat în tub.

0	1	2	3	4	5
2	Elemente metalice ale construcției, în calitate de conducte principale de captare sau de coborîre		Tablă zincată (sub formă de învelitori, acoperișuri, jgheaburi, burlane) $s = 100$ mm²; $g = 0,5$ mm		
3	Prize de pămînt naturale	În pămînt	Oțel cu $s = 100$ mm² totală Oțel de armare Ø 8 sau Ø 5 la betoane pretensionate sau precomprimate		
4	Prize de pămînt artificiale — verticale	În pămînt	Oțel țeavă Ø 40; 60; 75 — protejat $g = 3,5$ mm; — neprotejat $g = 4$ mm	7657—77 404/2—71 4102—79	Lungimi recomandate pentru electrozi: Ø 40, $L = 1,5$ m; Ø 60, $L = 2$ m; Ø 75, $L = 3$ m.
			Oțel cornier zincat $s = 100$ mm² — protejat $g = 4$ mm; — neprotejat $g = 6$ mm;	7836/1—77	
	— orizontale		Oțel bandă $s = 100$ mm² — protejat $g = 4$ mm; — neprotejat $g = 6$ mm;	908—79	
			Oțel rotund — protejat Ø 11; — neprotejat Ø 14;	889—76	
			Oțel de armare Ø 8	438/1—74	

Observații. *1.* Conductele și electrozii îngropați în pămînt pentru prize cu o durată de cel mult 4 ani, pot fi din oțel nezincat, fără mărirea grosimii la valorile impuse pentru oțelul neprotejat.

2. Secțiunile minime din tabel se vor dubla în cazul în care conducta de captare sau de coborîre este unică și canalizează întreaga descărcare a trăsnetului.

3. Conductele montate în interiorul clădirii pot fi prelungite în exteriorul clădirii (de ex. pentru legarea antenelor R sau TV).

4. La clădirile de gradele IV sau V de rezistență la foc și la construcțiile de categoria A, B sau C de pericol de incendiu, se interzice folosirea drept conducte principale de captare sau coborîre a elementelor de la pct. 2 din tabel.

5. Conductele îngropate în pămînt, de legătură între prize de pămînt, au grosimile și secțiunile minime indicate pentru electrozii orizontali.

Se admite realizarea IPT cu elemente special prevăzute în acest scop, executate din materiale avînd dimensiunile indicate în tabelul 10.1, numai dacă elementele metalice ale construcției:

— nu corespund cerințelor;

— nu se găsesc în locurile necesare;

— nu este permis a fi utilizate ca elemente ale IPT (se corodează rapid sau pot fi demontate ulterior);

— nu permit obținerea unei protecții sigure la trăsnet.

Utilizarea altor materiale decît cele prevăzute în tabelul 10.1 se admite numai în cazuri excepționale, bine justificate; drept elemente de fixare, susținere, racord etc, se vor folosi accesoriile de montaj prevăzute în cataloagele de detalii tip (de ex.catalogul IPC). În lipsa acestor elemente se admite și utilizarea de elemente netipizate, cu condița ca ele să asigure calitățile impuse elementelor tipizate.

IPT realizate cu elemente special prevăzute în acest scop se vor amplasa de regulă pe construcția de protejat. Montarea IPT independent de construcția de protejat se admite numai în cazul construcțiilor de categoria A sau B și numai dacă această soluție este mai avantajoasă din punct de vedere economic sau dacă nu pot fi realizate condițiile impuse IPT montate pe astfel de construcții.

10.2.2. DISTANȚE MINIME ADMISE

1. *Distanța între două puncte de apropiere ale unei conducte a IPT*

Distanța minimă admisă între două puncte se va calcula cu relația

$$D \geqslant \frac{1}{10} \cdot L \ [\mathrm{m}], \qquad (10.1)$$

în care L este lungimea buclei conductei IPT, în metri (fig. 10.2).

Dacă între punctele de apropiere se găsește un material izolant electric, acest strat va intra în calculul distanței cu de 5 ori grosimea lui.

2. *Distanța de la conductele IPT la elementele metalice ale construcțiilor*

Distanța minimă admisă față de elementele metalice ale construcției care nu au fost incluse în IPT este

$$D \geqslant 0{,}3R + \frac{L}{10 \cdot n} \ [\mathrm{m}], \qquad (10.2)$$

în care: R este rezistența prizei de pămînt a IPT, în ohmi;

L — lungimea conductei de coborîre a IPT de la locul de apropiere pînă la locul de intrare în pămînt, în m;

n — numărul conductelor de coborîre.

Dacă între punctele de apropiere se găsește un material izolant, acesta va intra în calcul cu de 5 ori grosimea lui. În cazul în care distanța minimă dată de relația (10.2) nu poate fi respectată, toate elementele metalice ale

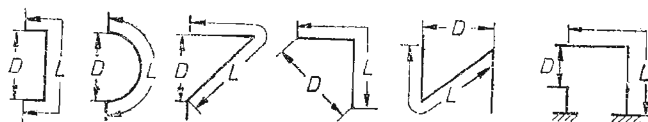


Fig. 10.2. Tipuri uzuale de bucle în construcția IPT.

construcției care intră în zona interzisă se vor lega direct sau prin aparate de protecție contra supratensiunilor la IPT.

3. *Distanța de la conductele IPT pînă la instalațiile electrice*

Distanța minimă admisibilă se calculează cu relația (10.2). Dacă aceasta nu poate fi respectată, se aplică aceleași măsuri ca la punctul 2. Fac excepție și nu necesită respectarea unor anumite distanțe față de elementele IPT, instalațiile electrice din interiorul clădirilor complet metalice, cu schelet metalic sau din beton armat folosite drept elemente ale IPT precum și instalațiile electrice înglobate direct în structurile din beton armat de suprafață mare, dacă priza de pămînt a IPT și a instalației electrice este comună.

Consolele de acoperiș ale instalațiilor electrice aeriene se vor lega la IPT numai dacă ele constituie punctele cele mai înalte ale acoperișului. În acest caz, legătura se va face indirect, printr-un eclator montat între consolă și elementul IPT, cu spațiul disruptiv de cca. 30 mm. Dacă clădirile au acoperiș din material combustibil, se vor folosi descărcătoare de tip închis, iar conductele IPT se vor proteja cu materiale izolante incombustibile pe o distanță de cca. 1 m în jurul consolei (dacă conductele aeriene sînt izolate, măsura nu mai este necesară).

Distanța minimă admisă între conductele IPT și conductele instalațiilor aeriene, la devierea lor maximă este de 0,5 m.

4. *Distanța de la conductele IPT la elementele de construcție*

Distanța minimă admisă de la conductele IPT la elementele de construcție va fi de:

— 60 cm, pînă la coama acoperișurilor din materiale combustibile;
— 40 cm, pînă la suprafața acoperișurilor din materiale combustibile;
— 20 cm, pînă la pereți din materiale combustibile.

Dacă aceste distanțe nu pot fi respectate, pe porțiunea respectivă se vor monta materiale incombustibile și izolante electric; distanța la elementele de construcție incombustibile nu se normează.

10.2.3. PROTEJAREA IPT

1. *Protecția contra coroziunii*

Elementele unei IPT executate din oțel vor fi protejate prin zincare la cald (inclusiv șuruburile pentru îmbinări și accesoriile de montaj). Îmbinările din pămînt se acoperă cu un strat de bitum, iar întreaga IPT aflată deasupra pămîntului și pînă la 30 cm sub nivelul solului (cu excepția conductelor înglobate în beton și a celor din aluminiu eloxat), va fi protejată după instalare prin aplicarea unui grund de miniu de plumb și prin vopsire cu vopsea rezistentă la intemperii.

2. *Protecția contra deteriorărilor mecanice*

Conductele IPT amplasate în locuri în care ar putea fi supuse deteriorărilor și pe înălțimea de 1,5 m de la sol pînă la 0,3 m sub nivelul solului, vor fi protejate mecanic prin profile din oțel laminat sau din tablă de oțel. Se interzice utilizarea de tuburi metalice pentru protecția mecanică a conductelor IPT.

3. *Protecția contra efectelor secundare ale trăsnetului*

La construcțiile din categoriile A și B de pericol de incendiu și la instalațiile exterioare pentru lichide sau gaze combustibile se vor lua măsuri și pentru asigurarea protecției contra efectelor secundare ale trăsnetului [29].

10.3. ELEMENTELE INSTALAȚIEI DE PROTECȚIE

10.3.1. ELEMENTE DE CAPTARE

Clădirile și instalațiile tehnologice exterioare au realizate prin propria construcție elementele de captare în următoarele condiții:

a) acoperișul este plat sau practic plat (diferența de nivel între coama și marginea acoperișului de cel mult 1 m), dacă clădirile sînt:

— cu structura complet metalică, avînd continuitatea electrică asigurată prin îmbinarea corespunzătoare a diverselor elemente — figura 10.3;

— de categoria I, II sau III de rezistență la foc cu încăperi de categoria D sau E de pericol de incendiu, cu acoperișul din tablă cu grosimea minimă de 0,5 mm îmbinată prin fălțuire, nituire, lipire sau alte procedee, prin care se realizează o continuitate electrică sigură, sau cu acoperișul din materiale izolante electric susținute pe schelete metalice pe care sînt prinse prin elemente metalice montate la distanțe fixe;

b) instalațiile tehnologice exterioare au structura complet metalică, cu continuitate electrică asigurată prin modul de îmbinare.

Dacă condițiile menționate nu sînt îndeplinite, construcțiile vor fi prevăzute cu conducte de captare, montate uzual pe construcția de protejat. În prezent se utilizează trei sisteme de dispunere a conductelor de captare:

— sistem rețea;

— sistem de coamă;

— sistem tije (captator).

Elementele metalice ale acoperișului (cornișe metalice, jgheaburi pentru ploaie etc) pot fi folosite drept conducte de captare dacă au o continuitate electrică sigură, secțiunea de minimum 100 mm² și grosimea de cel puțin 0,5 mm.

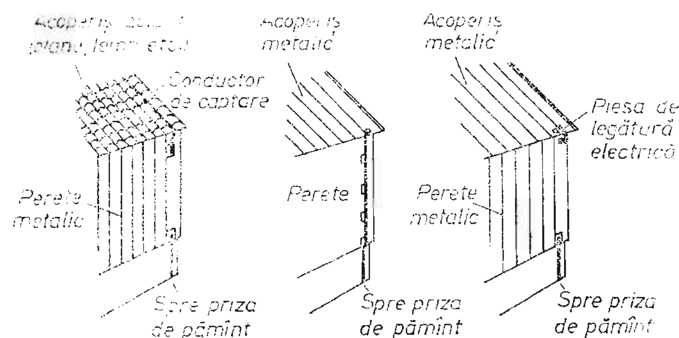


Fig. 10.3. Clădiri cu structură metalică utilizată pentru realizarea elementelor de captare.

Elementele metalice ale construcțiilor care ies din planul acoperișului se includ în sistemul de captare. Dacă aceste elemente nu sînt metalice, se prevăd cu o ramă metalică din oțel (rotund sau cornier) cu secțiunea minimă de 100 mm^2 care se va lega la cea mai apropiată conductă de captare.

10.3.2. ELEMENTE DE COBORÎRE

Ca elemente de coborîre se utilizează în primul rînd elementele metalice ale construcției respective și anume:

— scheletul metalic, armăturile metalice sau pereții metalici ai construcției, care pot înlocui numărul de coborîri principale în proporție de 100%;

— alte elemente metalice (conducte de apă, de încălzire, scările de incendiu, burlane etc.), care pot înlocui numai 50% din numărul de coborîri necesar, cu condiția continuității electrice și a unei secțiuni minime de 100 mm^2. Aceste elemente nu pot fi utilizate la construcțiile din categoria A, B și C cu pericol de incendiu și la clădirile de gradele IV și V de rezistență la foc.

Nu se admite utilizarea conductelor de gaze naturale sau de lichide combustibile drept coborîri pentru IPT, chiar dacă din motive de siguranță ele trebuie legate la această instalație.

Dacă numărul de coborîri nu poate fi asigurat prin elementele metalice ale construcției, vor fi prevăzute conducte speciale de coborîre instalate pe exteriorul clădirii, cu respectarea următoarelor condiții:

— traseele se vor alege astfel încît să continue cît mai direct, pe drumul cel mai drept, traseele conductelor de captare; este interzisă însă trecerea conductelor de coborîre prin luminatoare, balcoane, logii etc.;

— vor fi instalate pe clădire cît mai simetric posibil;

— vor fi instalate de regulă aparent pe clădire; se admite și pozarea îngropată sub materialul de finisaj al fațadelor a 50% din coborîri numai la construcții executate din lemn, cărămidă, beton nearmat, dacă acestea necesită cel puțin 2 coborîri și dacă îmbinările conductelor îngropate se execută prin sudură, iar conductele nu sînt în contact direct cu materiale combustibile;

— montarea în interiorul clădirii se admite numai în cazuri excepționale [29].

10.3.3. PRIZA DE PĂMÎNT

Priza de pămînt se realizează utilizînd cu prioritate prizele de pămînt naturale ale construcției respective și cele aflate la cel mult 10 m distanță de construcție, ca:

— elementele metalice ale construcției în contact cu pămîntul, direct sau prin fundații de beton și armăturile metalice ale construcțiilor din beton armat, cu condiția ca secțiunile minime să fie cele date în tabelul 10.1;

— coloanele de adîncime ale sondelor;

— conductele metalice pentru fluide incombustibile, îngropate în pămînt, cu condiţia ca elementele lor izolante să fie şuntate cu elemente conductoare electric avînd rezistenţă neglijabilă (s = 16 mm^2 Cu sau 50 mm^2 Ol);

— învelişurile metalice şi armăturile metalice ale cablurilor subterane, cu condiţia ca legăturile de continuitate electrică la cutiile de îmbinare şi ramificaţie să aibă cel puţin secţiunea de 4 mm^2 Cu la secţiuni ale învelişului metalic al cablului de maximum 6 mm^2 şi respectiv 10 mm^2 Cu la secţiuni de 10 mm^2.

Se interzice folosirea drept priză de pămînt naturală a învelişurilor de aluminiu ale cablurilor şi conductelor tehnologice pentru transportul fluidelor calde sau combustibile.

Se admite folosirea prizelor de pămînt artificiale pentru obţinerea valorii necesare rezistenţei de dispersie numai dacă nu se dispune de prize de pămînt naturale sau dacă prizele existente nu asigură realizarea rezistenţei de dispersie normată; materialele pentru priza de pămînt vor îndeplini condiţiile din tabelul 10.1.

În cazul realizării prizei de pămînt artificiale a IPT cu electrozi verticali, aceştia vor fi distribuiţi cît mai uniform în jurul clădirii pe conturul ei, legarea coborîrilor la priză făcîndu-se prin intermediul conductei comune ce uneşte electrozii. Legăturile conductelor de coborîre la priza de pămînt se vor face de regulă în pămînt, în afara construcţiei respective.

Priza de pămînt a IPT poate fi comună cu priza de pămînt a următoarelor categorii de instalaţii:

— instalaţii electrice cu tensiuni sub şi peste 1 kV;

— instalaţii pentru firme şi reclame luminoase;

— instalaţii pentru aparate medicale de joasă şi înaltă tensiune;

— instalaţii de cinematograf;

— alte instalaţii admise de prescripţiile tehnice departamentale.

Rezistenţa de dispersie a prizei de pămînt comune va avea cea mai mică valoare cerută pentru categoriile de instalaţii respective. Dacă priza de pămînt se foloseşte în comun cu instalaţii electrice cu tensiune peste 40 V c.a. sau 65 V c.c., rezistenţa de dispersie a prizei de pămînt comune va fi de cel mult 1 ohm (se admit 4 ohmi dacă rezistivitatea solului este mai mare de 200 ohmi · m iar pe partea de joasă tensiune se aplică protecţia prin legare la nul).

Dacă nu se poate realiza valoarea cerută pentru rezistenţa prizei comune, priza de pămînt a IPT se poate executa separat cu următoarele valori:

— 5 ohmi, la prize de pămînt naturale;

— 10 ohmi, la prize de pămînt artificiale.

Distanţa de la elementele neizolate ale prizei de pămînt a IPT la alte prize de pămînt va fi de cel puţin 5 m. Dacă la o distanţă mai mică de 10 m de la priză trec conducte de legare la pămînt aparţinînd altor instalaţii, aceste legături vor fi executate cu conducte izolate montate în tuburi de protecţie nemetalice sau cu cabluri cu izolaţie corespunzătoare unei tensiuni de 1000 V.

În general, pentru IPT se prevede o singură priză de pămînt la care se leagă toate elementele de coborîre. Dacă din motive justificate această condiţie nu poate fi îndeplinită, se admite legarea fiecărei coborîri la o

priză de pămînt artificială locală avînd rezistența de dispersie de cel mult 30 ohmi. Aceste prize nu vor fi amplasate sub intrările clădirilor cu aglomerări de persoane și sub locurile cu circulație pietonală intensă.

10.4. PROIECTAREA ȘI EXECUTAREA IPT

Proiectarea unei instalații de protecție contra trăsnetului constă în alegerea soluției privind compunerea și modul de execuție al instalației, inclusiv materialele și dimensiunile adoptate, astfel încît să se asigure protecția construcției sau instalației vizate, precum și rezistența mecanică, stabilitatea termică și la coroziune, aspectul arhitectonic și un cost cît mai redus.

Datele de proiectare necesare sînt planurile acoperișului și fațadelor construcției, cu indicarea detaliilor care interesează IPT și anume:

— la acoperiș: formă, înclinare, construcții proeminente, materiale de acoperire, elemente metalice care pot fi folosite de IPT;

— pe și în construcție: elementele metalice de construcții și alte categorii de instalații, care pot fi legate la IPT;

— în pămînt: elemente de construcții sau alte categorii de instalații, care pot fi utilizate ca prize naturale de pămînt sau care trebuie legate la priza artificială de pămînt;

— elementele de construcții și instalații sau acoperirile naturale din vecinătate care favorizează căderea trăsnetelor și care se au în vedere la proiectarea IPT.

Principalele etape de calcul (pentru protecția construcțiilor cu caracter special se va avea în vedere și [29]) sînt următoarele:

10.4.1. ELEMENTELE DE CAPTARE

Construcțiile vor fi prevăzute cu conducte speciale de captare numai dacă nu sînt îndeplinite condițiile menționate în par. 10.3.1. Materialele și dimensiunile conductelor de captare se vor alege conform indicațiilor din tabelul 10.1.

Elementele de captare se vor monta, de regulă, pe acoperișul construcțiilor de protejat, în locurile în care probabilitatea loviturilor directe de trăsnet este cea mai mare (pe coama acoperișului, pe frontoane, pe elementele de construcție proeminente). Distanța dintre reazeme va fi de cca. 1,5 m iar înălțimea reazemelor va asigura distanța impusă față de materialul acoperișului conform par. 10.2.2.

Tipul sistemului de dispunere a conductelor de captare pe acoperiș se alege după forma și tipul acoperișului astfel (tabelul 10.2):

— sistemul rețea se folosește pentru acoperișurile plate sau practic plate cu 1 sau 2 pante (versante) la care coama acoperișului depășește marginea acestuia cu cel mult 1 m;

Tabelul 10.2

Indicații pentru dispunerea conductelor de captare pe tipuri uzuale de acoperișuri și stabilirea numărului de coborîri [29]

Nr. crt.	Felul acoperișului	Dimensiunile acoperișului: Lungimea L / Lățimea l	Dispunerea conductelor de captare și numărul coborîrilor		
			≤20 m	>20 m: 20 m—40 m	>20 m: 40 m—60 m
1	A. Acoperișuri plate (terasă cu 1 sau 2 versante) cu diferența de nivel între coamă și marginea acoperișului sub 1 m.	≤12m	2 coborîri	3 coborîri	4 coborîri
2		12m—20m	4 coborîri	6 coborîri	8 coborîri
3		20m—40m	—	8 coborîri	10 coborîri
4	B. Acoperișuri cu pante (cu 2 sau 4 versante) cu diferența de nivel între coamă și marginea acoperișului peste 1 m	≤12m	2 coborîri	3 coborîri	4 coborîri

5		12m – 20m	4 coborîri	6 coborîri	8 coborîri
6		20m – 40m	—	8 coborîri	10 coborîri
7	C. Acoperișuri cu sheduri				

Observații.

— La clădiri cu lățimi peste 40 m, pentru fiecare 20 m în plus se va prevedea cîte o coborîre montată pe fiecare din cele două lățimi ale clădirii.

— La clădiri cu lungimi mai mari decît cele din tabel pt. fiecare 20 m în plus se va prevedea cîte o coborîre la clădiri cu lățime sub 12 m și cîte 2 coborîri la clădiri cu lățimi peste 12 m plasate pe o parte și pe alta a clădirii.

— Schemele rețelelor de captare vor avea ochiuri de maxim 20 m × 20 m la IPT normale și de 10 m × 10 m la IPT întărite.

— La clădiri cu IPT normale se admite și distanța de 24 m între coborîri dar numai la clădiri cu înălțimea pînă la 20 m și cu lungimea de cel mult 48 m.

— La clădiri cu unghiul $\alpha \leqslant 30°$ se vor prevedea conducte de captare și pe marginea acoperișului.

— La construcțiile cu sheduri, coamele shedurilor extreme și coamele shedurilor intermediare distanțate la cel mult 12 m vor fi prevăzute cu conducte de coamă. Dacă muchiile coamelor sînt metalice ele pot înlocui conductele de coamă. Toate conductele de coamă se vor racorda la coborîri distanțate la cel mult 20 m așa cum se vede în figură.

— Distanța între oricare din punctele acoperișului și conductele rețelei de captare va fi de cel mult 10 m pt. IPT normale și de cel mult 5 m la IPT întărite.

Tabelul 10.3

Stablilirea zonei de protecție pentru diferite IPT [29]

Nr. crt.	Tip captator	Schema	Relații de calcul
0	1	2	3
1	Un captator vertical		$h \leqslant 30$ m $\quad r_x = \dfrac{1{,}6(h - h_x)}{1 + \dfrac{h_x}{h}}$ $h > 30$ m $\quad r_x = \dfrac{8{,}8}{\sqrt{h}} \cdot \dfrac{h - h_x}{1 + \dfrac{h_x}{h}}$
2	Două captatoare verticale egale la distanța „a"		r_x ca la pct. 1 $h < 30$ m: $\quad h_0 = h - \dfrac{a}{7}$; $\quad R = 1{,}82a$; $\quad b_x = \dfrac{3{,}2(h_0 - h_x)}{1 - \dfrac{h_x}{h_0}}$ $h > 30$ m: $\quad h_0 = h - \dfrac{a\sqrt{h}}{33{,}5}$; $\quad R = \dfrac{a}{2}\sqrt{1 + \dfrac{370{,}56}{h}}$; $\quad b_x = \dfrac{17{,}6}{\sqrt{h_0}} \cdot \dfrac{h_0 - h_x}{1 - \dfrac{h_x}{h_0}}$

3	Două captatoare verticale inegale la distanța a		— pt. zona exterioară ca la pct. 1; — pt. zona interioară ca la pct. 2 cu distanța între captatoarele egale „a'"
4	Trei captatoare verticale egale amplasate în vîrfurile unui triunghi		— în afara triunghiului ca la pct. 2 luînd două cîte două cele 3 captatoare; — în interiorul triunghiului, înălțimea de protecție este: $h \leqslant 30$ m $\quad h_0 = h - \frac{D}{8}$; $h > 30$ m $\quad h_0 = h - \frac{D\sqrt{h}}{44}$ D este diametrul cercului circumscris triunghiului.

Tabelul 10.3 (continuare)

0	1	2	3
5	Patru captatoare verticale egale amplasate în vîrfurile unui dreptunghi		— ca la punctul 4, în care D este diagonala dreptunghiului
6	Patru sau mai multe captatoare verticale egale amplasate neregulat		— se împarte zona în triunghiuri avînd o latură comună și se rezolvă ca la pct. 4 — dacă captatoarele sînt inegale se rezolvă ca la pct. 3 combinat cu pct. 4

7	Un captator orizontal suspendat la înălțimea h	r_x; r_x; h; h_x	— pt. construcții: $r_x = \dfrac{1{,}2(h - h_x)}{1 + \dfrac{h_x}{h}}$ — pt. L.E.A.: $r_x = \dfrac{0{,}8(h - h_x)}{1 + \dfrac{h_x}{h}}$
8	Două captatoare orizontale paralele la distanța a și cu înălțimea maximă la punctele de susținere h	r_x; 0; r_x; h_0; h_x; h; $a/2$; $a/2$	— r_x ca la pct. 7 $h_0 = h - \dfrac{a}{4}$

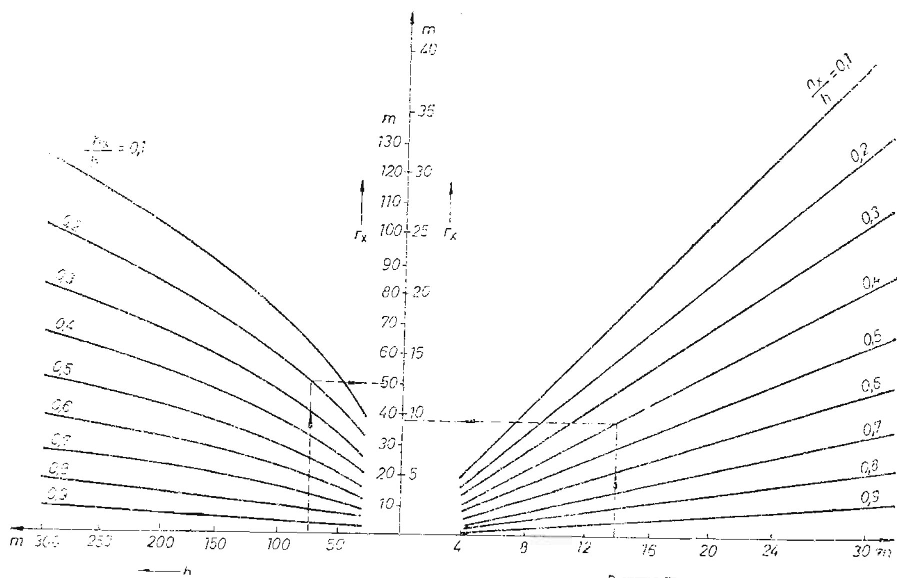


Fig. 10.4. Calculul nomografic al zonei de protecție pentru o IPT realizată cu un captator vertical.

— sistemul de coamă (de creastă) se folosește la acoperișuri cu pante (1, 2 sau 4 pante), cu sheduri sau cu sheduri de coamă, la care coama acoperișului depășește marginea sa cu mai mult de 1 m.;

— sistemul cu tijă (captator) se folosește pentru acoperișurile în formă de cort sau cu coamă scurtă, pentru elementele proeminente ale construcțiilor precum și pentru construcții în formă de turn sau alte cazuri similare.

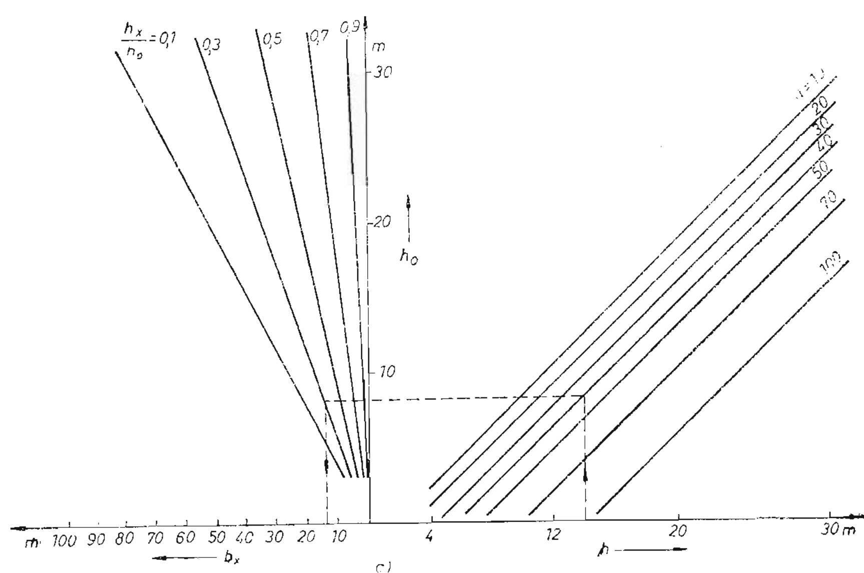
Sistemul de captare de tip rețea va avea ochiurile de maximum 20 × × 20 m, conductele fiind dispuse astfel încît nici unul din punctele acoperișului să nu fie la o distanță mai mare de 10 m față de aceste conducte.

Alegerea tipului sistemului de dispunere a conductelor de captare se va face avîndu-se în vedere ca sistemul ales să asigure în condiții tehnico-economice judicios stabilite, zona de protecție cerută. Aceasta se verifică conform tabelului 10.3 sau nomogramelor date în figurile 10.4, 10.5 și 10.6. Sistemele de dispunere a conductelor de captare pot fi combinate.

10.4.2. ELEMENTE DE COBORÎRE

Ca elemente de coborîre se utilizează în primul rînd elementele metalice ale construcției respective iar dacă acestea nu îndeplinesc condițiile impuse, se prevăd conducte speciale de coborîre, cu respectarea condițiilor din paragraful 10.3.2. Materialele și dimensiunile acestora se aleg conform tabelului 10.1.

Numărul conductelor de coborîre principale și dispunerea lor pe clădirea respectivă se aleg pe baza tabelului 10.2, avîndu-se în vedere următoarele:



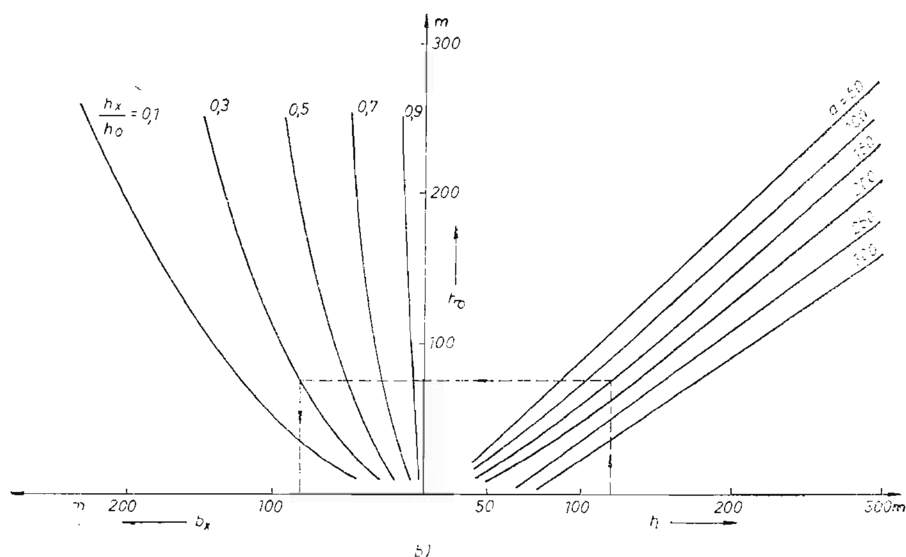


Fig. 10.5. Calculul nomografic al zonei de protecție pentru o IPT realizată cu două captatoare verticale situate la distanța *a*:
a — $h < 30$ m; *b* — $h > 30$ m.

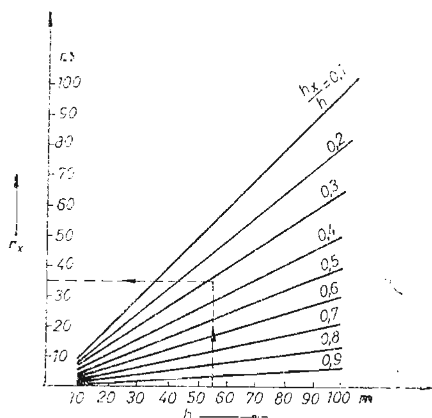


Fig. 10.6. Calculul nomografic al zonei de protecție pentru o IPT realizată cu un captator orizontal suspendat.

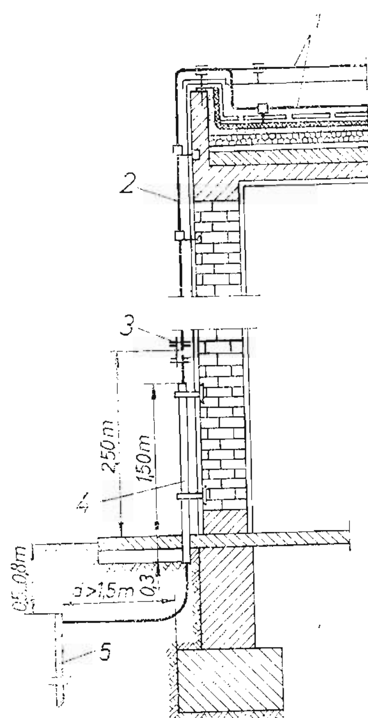


Fig. 10.7. Montarea IPT pe clădiri: *a* — dispozitiv de captare; *2* — dispozitiv de coborîre; *3* — piesă de separație; *4* — elemente de protecție; *5* — priza de pămînt.

— coborîrile vor fi prevăzute, atunci cînd este posibil, la colțurile clădirii, pe diagonală;

— o conductă de captare de coamă va avea coborîri la fiecare 20 m, dar cel puțin două coborîri dispuse la muchiile clădirii; dacă sînt numai două coborîri, se recomandă ca ele să fie dispuse în direcție opusă (în formă de Z);

— la clădirile cu IPT normale, cu înălțimea de cel mult 20 m și cu lungimea pînă la 48 m, se admite o abatere de maximum 4 m la distanța normată de 20 m între coborîri.

10.4.3. PRIZA DE PĂMÎNT

În scopul folosirii prizelor de pămînt naturale pentru IPT, se va prevedea din faza de proiect și se vor asigura prin execuție următoarele:

— realizarea unei continuități electrice între elementele conductoare electric ale prizelor naturale;

— o secțiune totală minimă de 100 mm²;

— locuri de acces la elementele respective, pentru racordarea coborîrilor (prin piese de racord corespunzătoare) și pentru efectuarea măsurătorilor de verificare (prin cel puțin două piese de racord); aceste piese vor fi legate de elementele respective prin legături de rezistență neglijabilă și vor fi înglobate în construcție în locuri corespunzătoare, de obicei spre exterior.

În cazul utilizării prizelor artificiale, acestea se vor proiecta conform cap. 9, pe baza indicațiilor date în paragraful 10.3.3. Priza de pămînt artificială a IPT va fi instalată la o distanță de minim 1,5 m și maxim 5 m de la fundația construcției respective și va fi îngropată la cel puțin 0,5 m de la suprafața solului.

La priza de pămînt comună a IPT se vor lega toate prizele de pămînt naturale şi artificiale ale altor instalaţii la care este permisă utilizarea unei prize comune, găsite la o distanţă mai mică de 20 m faţă de această reţea. De asemenea se vor lega şi toate elementele metalice găsite la o distanţă sub 2 m faţă de priza comună.

Suprastructurile metalice ale clădirilor fără IPT vor fi legate la priza de pămînt a instalaţiei electrice din clădirea respectivă cu o rezistenţă de dispersie de cel mult 4 ohmi, conductele de legătură la priză fiind distincte de cele ale instalaţiei electrice, cu excepţia clădirilor cu schelet metalic sau din beton armat la care scheletul metalic sau armăturile pot fi utilizate drept legături comune la priza de pămînt.

Un exemplu de realizare a IPT cu elemente special prevăzute în acest scop este dat în figura 10.7.

BIBLIOGRAFIE

1. Albert, Hermina ş. a. *Alimentarea cu energie electrică a întreprinderilor industriale* București, Editura tehnică, 1979.
2. Badea, I. ş. a. *Protecția prin relee și automatizarea sistemelor electrice.* Bucureşti, Editura tehnică, 1973.
3. Balaurescu, D., Eremia, M. *Îmbunătățirea factorului de putere.* Bucureşti, Editura tehnică, 1982.
4. Bădulescu, N. *Linii şi staţii electrice — îndrumător.* Bucureşti, Editura tehnică, 1967.
5. Bercovici, M. ş. a. *Rețele electrice, calculul electric.* Bucureşti, Editura tehnică, 1974.
6. Bianchi, C. ş. a. *Proiectarea instalațiilor de iluminat electric.* Bucureşti, Editura tehnică, 1981.
7. Cănescu, T. ş. a. *Aparate electrice de joasă tensiune. Îndreptar.* Bucureşti, Editura tehnică, 1977.
8. Chiriță, G., Alexe, C. *Cartea instalatorului electrician.* Bucureşti, Editura tehnică, 1970.
9. Comşa, D. ş. a. *Proiectarea instalațiilor electrice industriale.* Bucureşti, 1979.
10. Comşa, D., Maier, V. *Instalații electrice industriale, lucrări practice.* Cluj-Napoca, Litografia Institutului politehnic Cluj-Napoca, 1976.
11. Comşa, D. *Utilizări ale energiei electrice.* Bucureşti, 1973.
12. Costăchescu, T. ş. a. *Instalații electrice pentru construcții.* Ghid de proiectare şi execuție. Craiova, Ed. Scrisul Românesc, 1978.
13. Darie, S. ş. a. *Producerea şi distribuția energiei electrice.* Cluj-Napoca, Litografia Institutului politehnic Cluj-Napoca, 1977.
14. Darie, S. ş. a. *Centrale şi rețele electrice, îndrumător de calcul al curenților de scurt-circuit.* Cluj-Napoca, Litografia Institutului politehnic Cluj-Napoca, 1972.
15. Fedorov, A. A. ş. a. *Alimentarea cu energie electrică a întreprinderilor industriale* (trad. din lb. rusă). Bucureşti, Editura tehnică, 1965.
16. Gheorghiu, N., Militaru, P. *Teoria şi practica iluminatului electric.* Bucureşti, Editura tehnică, 1970.
17. Gheorghiță, S. *Prețul în construcții.* Bucureşti, Editura tehnică, 1979.
18. Grzybowski, S. ş. a. *Condensatoare în electroenergetică* (trad. din lb. polonă). Bucureşti, Editura tehnică, 1966.
19. Herşcovici, B. ş. a. *Aparate electrice de înaltă tensiune, îndreptar.* Bucureşti, Editura tehnică, 1978.
20. Manea, A., Scărlătescu, M. *Aparate electronice pentru protecția muncii.* Bucureşti, Editura tehnică, 1976.
21. Nitu, V. ş. a. *Instalații electrice ale centralelor şi stațiilor.* Bucureşti, Editura tehnică, 1972.

22. Pietrăreanu, E. *Construcția și exploatarea rețelelor de cabluri în întreprinderile industriale.* București, Editura tehnică, 1973.
23. Pietrăreanu, E. *Tablouri electrice de distribuție de joasă tensiune.* București, Editura tehnică, 1975.
24. Pietrăreanu, E. *Agenda electricianului.* Ediția a III-a. București, Editura tehnică, 1979.
25. Popescu, C. *Proiectarea organizării șantierelor.* București, Editura tehnică, 1976.
26. Vasilache, G. *Sisteme de protecție împotriva tensiunilor electrice accidentale.* București, Editura tehnică, 1980.
28. * * * *Îndrumător tehnic pentru instalații. Mapa de instalații pentru construcții electrice.* ISART, București, 1974.
29. * * * ICCPDC. *Normativ pentru proiectarea și executarea instalațiilor de protecție contra trăsnetului a construcțiilor,* I. *120—79.* București, 1979.
30. * * * IGSC. *Normativ privind modul de încadrare în devize a utilajelor, echipamentelor, aparaturilor, mecanismelor și aparatelor din instalațiile complexe, liniile tehnologice de fabricație și alte instalații* (Ordinul IGSC nr. 29 din 2 oct. 1973).
31. * * * INCERC. *Normativ privind modul de întocmire a devizelor pe categorii de lucrări și pe obiecte pentru lucrările de construcții-montaj, P 91—76.*
32. * * * INCERC. *Normativ privind proiectarea și executarea instalațiilor electrice la consumatori, cu tensiuni pînă la 1000 V, I. 7—78.* București, 1978.
33. * * * M.E.E. *Instrucțiuni pentru dimensionarea și verificarea instalațiilor electroenergetice la solicitări mecanice și termice, în condițiile curenților de scurtcircuit, PE — 102/69 (15—2—69).*
34. * * * M.E.E. *Instrucțiuni pentru paza contra incendiilor pentru ramura energiei electrice și termice, PE — 009/76.*
35. * * * M.E.E. *Instrucțiuni pentru proiectarea stațiilor de conexiuni și transformare.* PE — 111/69, vol. I ... V.
36. * * * M.E.E. *Instrucțiuni pentru proiectarea și execuția instalațiilor de legare la pămînt.* București, 1970.
37. * * * M.E.E. *Instrucțiuni privind alegerea schemelor electrice de conexiuni ale stațiilor de 110, 220 și 400 kV.* PE — 133/71, București, 1974.
38. * * * M.E.E. *Instrucțiuni privind compensarea puterii reactive la consumatorii industriali și similari.* PE — 931/75.
39. * * * M.E.E. *Instrucțiuni privind compensarea puterii reactive în rețelele de distribuție exploatate de IRE.* PE 120/75.
40. * * * M.E.E. *Instrucțiuni privind determinarea secțiunii economice a conductoarelor în instalațiile electrice de distribuție 1—110 kV.* PE 135—81.
41. * * * M.E.E. *Îndrumar privind determinarea daunelor provocate de întreruperea în alimentarea cu energie electrică la consumatorii industriali.* ODE, București, 1973.
42. * * * M.E.E. *Normativ pentru construcția instalațiilor electrice de conexiuni și transformare cu tensiuni peste 1 kV.* PE — 101/71.
43. * * * M.E.E. *Normativ pentru proiectarea și execuția rețelelor de cabluri electrice.* PE 107/78.
44. * * * M.E.E. *Normativ privind alegerea izolației, coordonarea izolației și protecția instalațiilor electroenergetice împotriva supratensiunilor.* PE 109—74.
45. * * * M.E.E. *Normativ privind alimentarea cu energie electrică a consumatorilor industriali și similari.* PE — 124/78, București, 1978.
46. * * * M.E.E. *Normativ privind elementele de calcul a siguranței în funcționare a instalațiilor energetice.* PE—013/73.
47. * * * M.E.E. *Normativ privind metodele și elementele de calcul a siguranței în funcționare a instalațiilor energetice.* PE—013/72.

48. * * * M.E.E. *Normativ privind proiectarea instalațiilor de protecție prin relee și automatizare*. PE—501/69.
49. * * * M.E.E. *Normativ privind proiectarea și executarea construcțiilor și instalațiilor energetice din punct de vedere al prevenirii incendiilor*. PE—010/74.
50. * * * M.E.E. *Normativ privind stabilirea puterilor nominale economice pentru transformatoarele din posturi*. PE 145—79.
51. * * * M.E.E. *Normativ republican privind folosirea rațională a energiei electrice la iluminatul artificial precum și în utilizările casnice*. PE 136—74.
52. * * * M.E.E. *Norme de protecția muncii în instalațiile electrice*. PE—119/71.
53. * * * M.E.E. *Prescripții pentru protecția contra supratensiunilor a instalațiilor electrice cu tensiuni peste 1000 V.*
54. * * * M.E.E. *Regulament de exploatare tehnică a centralelor și rețelelor electrice*. PE—001/67 (R1—67).
55. * * * M.E.E. *Subansambluri pentru stații de 110 kV tip racord adînc, circuite primare*. E 189—72, ISPE.
56. * * * M.E.E. — C.I.E.E.T. *Norme de conținut pentru întocmirea documentațiilor tehnico-economice*. Iunie, 1977.
57. * * * M.E.E. — ICEMENERG. *Metodologie privind determinarea soluțiilor optime de distribuție a energiei electrice prin rețele de medie și joasă tensiune pentru marii consumatori industriali*. București, 1974.
58. STAS 2612-72. *Protecția împotriva electrocutărilor. Limite admise.*
59. STAS 4102-73. *Piese pentru instalații de protecție prin legare la pămînt sau la nul.*
60. STAS 6119—78. *Instalații electrice de joasă tensiune. Instalații de legare la pămînt de protecție. Prescripții.*
61. STAS 6616—78. *Instalații electrice de joasă tensiune. Instalații de legare la nul de protecție. Prescripții.*
62. STAS 6755-74. *Automatică. Semne și simboluri convenționale.*
63. STAS 7070-74. *Instalații de automatizare. Reguli pentru întocmirea documentației tehnice desenate.*
64. STAS 7334-78. *Instalații electrice de 1000 V și peste 1000 V. Instalații de legare la pămînt de protecție. Prescripții.*
65. STAS 7944-79. *Bare conductoare de curent. Curenți maximi admisibili de durată. Prescripții.*
66. STAS 8275-78. *Protecția împotriva electrocutărilor. Terminologie.*
67. STAS 9637-74. *Instalațiile electrice ale clădirilor. Terminologie.*
68. STAS 9638-74. *Marcarea conductoarelor izolate pentru identificarea circuitelor instalațiilor electrice.*
69. STAS 10636-76. *Marcarea alfa-numerică a bornelor aparatelor și instalațiilor electrice și extremităților conductoarelor. Dimensiuni.*

Coli de tipar: 32,5.
Format: 16/70×100.
Bun de tipar: 15. VII. 1983.
Ediția: 1983. Nr. plan 9376.



Întreprinderea Poligrafică Cluj
B-dul Lenin Nr. 146
Municipiul Cluj-Napoca
Republica Socialistă România
Comanda nr. 76